

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES
PARA SEGURANÇA E FUNCIONALIDADE DE
EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS**

MAURÍCIO IBARRA DOBES

FLORIANÓPOLIS

1997

ESTUDO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES PARA SEGURANÇA E FUNCIONALIDADE DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título
de Mestre, especialidade em Engenharia Elétrica, e aprovada em
sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em**

Engenharia Elétrica



PROF. RENATO GARCIA OJEDA, Dr.
Orientador



PROF. ADROALDO RAIZER, Dr. INPG
Coordenador da Pós-graduação Eng. Elétrica

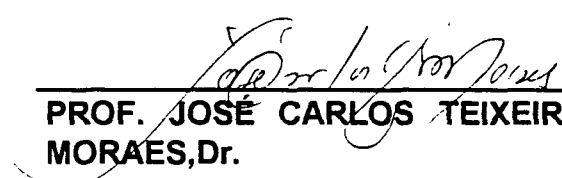
Banca Examinadora:



PROF. RENATO GARCIA OJEDA, Dr. (Presidente)



PROF. FERNANDO MENDES DE AZEVEDO, Dr.



**PROF. JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS
MORAES, Dr.**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO:	1
1.1 HISTÓRICO	1
1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	5
1.3 ESTADO DA ARTE.....	7
2. METODOLOGIA:.....	10
2.1 BASE BIBLIOGRÁFICA:	10
2.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA:	12
2.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS:.....	14
2.4 SOLUÇÕES PROPOSTAS:	15
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
3.1 INTRODUÇÃO À PROJETOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	17
3.2 NORMATIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS NO BRASIL	22
3.3 RISCO ELÉTRICO NO USO DE ELETRICIDADE EM AMBIENTE HOSPITALAR.....	27
3.3.1 Conceitos de macro-choque e micro-choque	27
3.3.2 Interação eletricidade x organismo humano - O choque elétrico	29
3.3.3 Origens do risco elétrico no ambiente hospitalar	40
3.4 EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS	46
3.4.1 Classificação	46
3.4.2 Precauções (manutenção, segurança e utilização)	49
4. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES	52
4.1 INTRODUÇÃO ÀS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES.....	52
4.2 NORMATIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES	57
4.3 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM LOCAIS PARA FINS MÉDICOS.....	58
4.3.1 Instalações elétricas em centros cirúrgicos	67
4.3.1.1 Locais do GRUPO 2: salas de cirurgia.....	71
4.3.1.2 Locais do GRUPO 1: salas de preparação cirúrgica e recuperação pós- cirurgia.....	77
4.3.1.3 Locais do GRUPO 0: áreas de apoio e área de circulação	78
4.3.1.4 Instalações elétricas para sala de cateterismo.....	80
4.3.2 Instalações elétricas em unidades de métodos invasivos não-cirúrgicos	81
4.3.3 Instalações elétricas em unidades de métodos não-invasivos	84

4.3.4 Instalações elétricas em unidades de tratamento intensivo (UTI)	88
4.4 ATERRAMENTO	92
4.5 SISTEMA ISOLADO	96
4.6 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE EMERGÊNCIA	98
4.7 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES	101
5. ANÁLISE DE LEVANTAMENTOS EM HOSPITAIS	104
5.1 INTRODUÇÃO AO LEVANTAMENTO DOS DADOS	105
5.1.1 Ficha de levantamento das instalações elétricas	106
5.2 RESULTADOS DOS LEVANTAMENTOS	107
5.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES A RESPEITO DOS LEVANTAMENTOS	113
6. CONCLUSÃO:.....	116
6.1 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES:.....	116
6.2 SOLUÇÕES PROPOSTAS:	119
6.3 TREINAMENTO:.....	122
6.4 PERSPECTIVAS.....	124
ANEXO A	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.4.1.1 - Modelo equivalente de impedância do corpo humano.....	33
Figura 3.4.1.2 - Resistência interna do corpo humano para diferentes percursos	34
Figura 3.4.1.3 - Impedância total do corpo humano x tensão de contato	35
Figura 3.4.1.4 - Corrente x tempo de choque	36
Figura 3.4.1.5 - Contrações musculares x frequência para corrente elétrica constante	38
Figura 3.4.1.6 - Corrente elétrica x frequência para mesma contração muscular	38
Figura 4.3.1 - Sistema TN-S	60
Figura 4.3.2 - Sistema TN-C	60
Figura 4.3.3 - Sistema TT	61
Figura 4.3.4 - Sistema IT	62
Figura 4.3.5 -Forma de ligação dos cond. fase, neutro e terra nas tomadas tripolares	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Efeitos da corrente elétrica no corpo humano.....	37
Tabela 4.1 Classificação por GRUPO de locais para fins médicos em hospitais.....	54
Tabela 4.2 Classificação por CLASSE de locais para fins médicos em hospitais.....	55

RESUMO

Os sistemas elétricos associados a equipamentos eletromédicos em estabelecimentos assistenciais de saúde exigem uma atenção especial, tanto a nível de projeto como de manutenção. Os equipamentos eletromédicos exigem uma energia de qualidade que atenda suas necessidades, devido às exigências de confiabilidade e segurança que estes sistemas devem oferecer em função das características das atividades ao qual se destinam tais estabelecimentos. Um estudo da funcionalidade e segurança, referenciada na normatização brasileira, de instalações elétricas para estabelecimentos assistenciais de saúde é desenvolvido neste trabalho, bem como um trabalho de pesquisa da situação das instalações elétricas destinadas à utilização de equipamentos eletromédicos de alguns hospitais da região da Grande Florianópolis. Instalações elétricas inadequadas podem provocar grandes riscos na utilização de equipamentos eletromédicos, tanto para usuários como para pacientes. O risco de choque elétrico deve ser minimizado através de instalações seguras e adequadas a cada equipamento e o fornecimento de energia oferecer condições para garantir a operação correta de equipamentos, pois operando fora de suas especificações elétricas, pode resultar em erros funcionais dos mesmos. Este trabalho apresenta as principais características que instalações elétricas destinadas a equipamentos eletromédicos devem possuir, visando garantir os requisitos de confiabilidade e segurança no fornecimento de energia elétrica. Em função da situação verificada nos hospitais pesquisados, concluiu-se que existe necessidade urgente de reestruturação da infra-estrutura elétrica destes hospitais, não só a nível de instalações físicas, como também de recursos humanos relacionados a esta atividade. Propõe-se que programas de treinamento específicos para a atividade sejam implementados e uma reestruturação no sistema de fiscalização de instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde, por parte dos órgãos competentes, que deve ser avaliada para que a comunidade tenha garantias quanto a situação das instalações destes estabelecimentos.

Palavras chave: segurança, funcionalidade, fiscalização, instalações
elétricas, equipamentos eletromédicos.

Study of Electrical Installations to Security and Functionality of Medical Electrical Equipments

ABSTRACT

The electrical installations in hospitals associated to medical electrical equipments, require a special attention in project, execution and maintenance. The medical electrical equipments require an energy with quality and reliability due to their exigencies of functionality and security. The electrical systems must offer this energy with those characteristics, guaranteeing the activities related to equipments realized in the hospitals. An study of functionality and security, regarding the Brazilian normalization of electrical installations in hospitals is developed in this work as well as a research about the situation of the electrical installations destined to the use of medical electrical equipments in some hospitals of Florianópolis. Inappropriate electrical installations offer risks in the uses of medical electrical equipments, both to users and patients. The risk of electrical shocks and incorrect functioning of these equipments must be minimized through appropriate and secure installations to this equipments. The supply of energy must offer the conditions to guarantee the correct functioning of these equipments, avoiding faults. This work show the main characteristics that electrical installations destined to medical electrical equipments must have in order to guarantee the requirements of reliability and security in the supply of electrical energy. After the research of the situation of electrical installations at the hospitals, an urgent necessity of reviewing to this installations and the human recourse related to this area was found. A proposal of how elaborate a training program specific to the activity of maintenance in the electrical installations in hospitals is presented and should be applied to professionals that work in the structure of maintenance of hospitals. The system of fiscalization of electrical installations in hospitals also should be restructured in order to guarantee that the exigencies of normalization are accomplished.

Key words: *security, functionality, fiscalization, electrical installation, medical electrical equipment.*

1. INTRODUÇÃO:

1.1 HISTÓRICO

Um hospital ou qualquer estabelecimento assistencial de saúde tem por objetivo a prestação de serviços na área da saúde, e deve oferecê-los com qualidade, eficácia e segurança. A parcela da população que deve se beneficiar destes serviços é o principal motivo para que estes estabelecimentos detenham uma estrutura capaz de atender todas as necessidades de uma comunidade. Logo, hospitais, clínicas, postos de saúde ou qualquer outro tipo de estabelecimento de saúde precisam ser dimensionados para atender estas necessidades e tanto do ponto de vista financeiro quanto social, devem ser viáveis e eficientes.

Para que uma estrutura assistencial de saúde funcione corretamente, é necessário que toda a comunidade envolvida diretamente no seu funcionamento tenha condições de trabalhar com garantias e segurança. Estas condições são fatores que englobam aspectos relacionados a remuneração, condição dignas de trabalho, qualificação técnica e infra-estrutura para o funcionamento destes estabelecimentos.

Quando se fala em infra-estrutura, está-se referindo a todo o tipo de serviço, instalações ou infra-estrutura física e equipamentos necessários ao correto funcionamento destes estabelecimentos. Dentro de tal contexto, interessa para este trabalho toda a parte desta estrutura relacionada direta ou indiretamente a instalações elétricas necessárias à utilização correta e segura de equipamentos eletromédicos. Isto porque nas últimas duas décadas houve um incremento de equipamentos elétricos utilizados na prática médica, tanto a nível de quantidade quanto de complexidade tecnológica, e para que estes equipamentos eletromédicos possam funcionar com

qualidade, eficácia e segurança, é necessária toda uma infra-estrutura especializada e confiável.

A ocorrência de acidentes no ambiente hospitalar no Brasil atinge proporções alarmantes, não podendo se diferenciar o nível de gravidade relacionado a cada área ao qual estes acidentes possam ser enquadrados. No caso específico de acidentes relacionados a equipamentos eletromédicos e instalações elétricas, pode-se, com garantia, afirmar que o número e gravidade são bastante consideráveis, não havendo no Brasil uma estatística concreta, devido ao fato de que estes acidentes quando ocorrem, são de difícil identificação e caracterização. Afim de exemplificar a gravidade da situação, existem estatísticas realizadas nos Estados Unidos indicando que, por exemplo, em 1989 o uso intensivo de equipamentos eletromédicos resultou em torno de 10.000 acidentes, com um saldo de 1000 mortes [45]. Na Suécia durante os anos de 1984 e 1985, foram analisados 306 equipamentos defeituosos que causaram acidentes fatais ou com sérias consequências. Verificou-se que 21% dos acidentes foram relacionados à manutenção incorreta, 26% ao uso indevido e 46% com problemas de funcionalidade [45]. Muitos destes problemas, acredita-se, estão relacionados à infra-estrutura elétrica inadequada para o correto funcionamento destes equipamentos.

Outras pesquisas, como a realizada por Carl W. Walter [46], cirurgião do Peter Bent Brigham Hospital de Boston, que através de informações obtidas de um atuário de uma companhia de seguros, e Ralph Nader, em 1971 [46], também cirurgião deste hospital, baseado em contatos com médicos e técnicos, divulgaram respectivamente, que ocorriam alarmantes 1200 e 5000 mortes anualmente por eletrocussão durante diagnósticos de rotina e procedimentos médicos. Estes valores não puderam ser documentados porque dificilmente há evidências patológicas, e também porque a morte é atribuída a outras causas, pois o paciente geralmente está com a saúde debilitada, sendo que normalmente a morte é atribuída a parada cardíaca [46].

No Brasil a situação é com certeza, muito mais precária. Equipamentos e instalações elétricas da maioria dos hospitais, tanto públicos como privados, estão em péssimas condições de utilização, devido ao desgaste natural de utilização, falta de manutenção corretiva e preventiva e má utilização. Agrava a situação, a falta de recursos para o setor da saúde e o fato de que muitos destes equipamentos, e principalmente instalações elétricas, foram projetados e construídos décadas atrás, quando ainda não eram incorporados vários requisitos de proteção recomendados atualmente. Existe um consenso mundial em torno das necessidades de regulamentação e padronização de procedimentos relacionados a equipamentos e instalação elétricas hospitalares, visando aumentar a segurança e confiabilidade destes equipamentos e sistemas elétricos. O Brasil não está ausente neste processo e no sentido de referenciar o Brasil no contexto internacional, é interessante mostrar as principais ações nesta área de alguns países.

Em países Europeus, os governos adotaram uma política de não aceitar equipamentos médicos inseguros e ineficazes, bem como atuar contra o seu uso impróprio. Alguns países atingem este objetivo através de padrões de inspeções estabelecidos pelo GMP (Good Manufacturing Practice) , aprovação de pedidos de compras cuidadosamente efetuados , profissionais especializados em quantidade suficiente para avaliar os equipamentos médicos, normatização de instalações elétricas para estabelecimentos de saúde e fiscalização permanente de projetos e execuções destes estabelecimentos[45].

Em países do Pacífico Oriental, as ações nesta área têm como pontos principais, o estabelecimento do registro de todo equipamento médico vendido no país, comparação e disseminação das informações relativas a problemas com equipamentos, avaliação da segurança e eficácia dos itens de alto risco, antes da compra de equipamentos e implemento de instalações que visem desenvolver normas e testar certos tipos de equipamentos e instalações para a área médica [45].

Os Estados Unidos possuem um modelo de controle de acidentes envolvendo atividades no ambiente hospitalar que é regulamentado pelo "*The Safe Medical Device Act*" (lei sobre a segurança de equipamentos médicos), organizado pelo FDA (Food and Drug Administration) em 28 de novembro de 1991 [45]. Esta lei definiu basicamente que hospitais, distribuidores e importadores de equipamentos médicos devem relatar ao fabricante no prazo de 10 dias após a ocorrência do acidente, todos os casos de morte, enfermidades ou sérios danos, relacionados a equipamentos e instalações médicas , Em caso de desconhecimento do fabricante, deve ser relatado diretamente ao FDA. Desta maneira é possível controlar e avaliar a qualidade de equipamentos e instalações. Existem também normas referentes a equipamentos e instalações que regulamentam procedimentos e um sistema de fiscalização extremamente rígido e eficaz [45].

O Brasil seguindo uma tendência mundial vem preocupando-se com esta área desde a década de 80, quando vários pesquisadores começaram a publicar trabalhos nesta área e a Engenharia Clínica e Hospitalar começou a ganhar fôlego. A partir de 1995, foram publicadas pela ABNT várias normas e pelo Ministério da Saúde a portaria 2662, estabelecendo padrões e regras para procedimentos relacionados a equipamentos médicos e instalações elétricas hospitalares. Todas estas normas são fortemente baseadas em normas internacionais, o que garante ao Brasil uma conformidade com a maioria das nações.

Tratando-se exclusivamente de instalações elétricas, com a crescente evolução da complexidade dos métodos e equipamentos em hospitais principalmente, fica evidente a necessidade de instalações elétricas que atendam às exigências previstas em norma, a fim de garantir confiabilidade e qualidade no fornecimento de energia elétrica e, principalmente, segurança, tanto para pacientes como para o corpo clínico do hospital na utilização destes equipamentos.

A partir desta necessidade, o Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Santa Catarina (GPEB), através do seu Núcleo de Engenharia Clínica (NEC), vem implementando um trabalho amplo visando oferecer serviços e desenvolvimento de tecnologias ligadas à área de equipamentos médicos. Este programa tem como orientação principal o gerenciamento de serviços e assessorias técnicas para garantir o bom funcionamento de toda a infra-estrutura em equipamentos existentes em um hospital. Para que este programa tenha resultados práticos, é necessário trabalhar-se em várias frentes, como gerenciamento de compra e manutenções de equipamentos, acompanhamento e testes de equipamentos, estrutura para manutenções corretivas e preventivas entre outros itens. Neste contexto surgiu a necessidade de capacitação da tecnologia e implementar um trabalho na área de instalações elétricas hospitalares, a fim de garantir que todo esforço feito em cima de equipamentos não seja desperdiçado ou ineficaz, devido às más condições e inadequação do sistema elétrico.

1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

O objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo das condições dos sistemas elétricos hospitalares nas quais os equipamentos eletromédicos são ligados visando apresentar as formas de adaptar as estruturas às novas normas brasileiras, tanto de equipamentos como de instalações elétricas, garantindo segurança e melhor aproveitamento das características dos equipamentos eletromédicos e de toda a instalação hospitalar.

Toda esta sistematização visa fornecer ao Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica o conhecimento necessário destas estruturas para serem aplicados nos seus programas de Engenharia Clínica.

Objetiva-se também um estudo da situação das instalações elétricas de hospitais da Grande Florianópolis, apresentando alternativas de soluções aos problemas

encontrados, tanto em segurança, instalações e verificação de normas técnicas, e ainda realizar uma avaliação das condições de funcionamento de um hospital do ponto de vista das instalações elétricas como, por exemplo, a dinâmica com que são ligados os equipamentos, problemas com energia reativa e manutenção destas instalações.

Pretende-se também gerar um programa de treinamento para profissionais ligados a área de projeto, execução e manutenção de instalações elétricas hospitalares.

Junto com estes objetivos, justifica-se este trabalho, pela aprovação de normas técnicas para instalações elétricas hospitalares pela ABNT, mais especificamente a norma técnica NBR 13534 (Instalações Elétricas para Estabelecimentos Assistenciais de Saúde) [11] em 1995 e a publicação da Portaria 2662 [47] pelo Ministério da Saúde, determinando que esta norma deve ser aplicada a todos os estabelecimentos, privados ou públicos, que se enquadrem na área de saúde, tanto para novos projetos como para as instalações já existentes, caso não estejam em conformidade com a norma.

Como já foi relatado, instalações elétricas inadequadas podem provocar grandes riscos no uso de equipamentos eletromédicos, tanto para o paciente como para o pessoal da área de saúde. A partir do momento em que se tenha domínio da tecnologia envolvida neste tipo de instalação, tem-se condição de analisar toda a infra-estrutura elétrica de um hospital e avaliar e, se necessário, corrigir suas condições de segurança e funcionalidade.

Sob este ponto de vista, tem-se o conhecimento que um número muito pequeno das instalações elétricas nos estabelecimentos assistenciais de saúde do país estão de acordo com os requisitos mínimos de segurança e confiabilidade. Isto se deve ao fato de que até a publicação em 1995 da NBR 13534 [11], havia uma norma técnica, a NBR-5410 (Norma Brasileira para Instalações Elétricas em Baixa Tensão) [9] que regulamentava todo o tipo de instalação elétrica, fosse ela, predial (residencial ou comercial), industrial ou hospitalar, e a Portaria 400, que se trata de um conjunto de normas e padrões de construções e instalações de serviços de saúde, editada em Brasília

em 1983 [51]. Esta portaria aborda superficialmente os itens que envolvem uma instalação elétrica hospitalar e a partir dela, havia recomendações para que os projetistas implementassem algumas técnicas em seus projetos, porém sem que houvesse um consenso a respeito destas técnicas. Logo, encontram-se hoje em dia instalações projetadas há muito tempo atrás que não levam em consideração a maioria dos aspectos relacionados às instalações hospitalares, sendo apropriadas do ponto de vista residencial, comercial ou industrial, mas não hospitalar. É importante deixar claro que em um hospital tem-se reunido praticamente todos os tipos de necessidades elétricas, e que a falha de um dispositivo do sistema pode resultar na perda de uma vida, ou seja, a energia elétrica em um ambiente hospitalar é fonte de vida.

Atualmente, é inadmissível que com o nível de conhecimentos tecnológicos ligados a área de instalações elétricas hospitalares, conhecimento dos problemas eminentes de uma instalação inadequada e profissionais tecnicamente habilitados para conhecer esta tecnologia, ainda existam resistência e desinteresse pela solução dos problemas existentes. Este trabalho pretende também estimular os profissionais e autoridades envolvidas nesta área a refletirem e tomarem ações concretas no sentido de solucionar tais problemas.

1.3 ESTADO DA ARTE

Atualmente, existe um consenso mundial dos riscos envolvidos na prática médica relacionados a equipamentos eletromédicos e à infra-estrutura necessária a sua utilização. Países mais desenvolvidos, em função da própria realidade econômica que propiciou o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias foram afetados com problemas oriundos destas tecnologias anteriormente à países menos desenvolvidos, o que desencadeou um processo de aperfeiçoamento de equipamentos e instalações que se tornaram referência para outros países.

Os Estados Unidos foram os pioneiros na implementação de normas e procedimentos de segurança relacionados a projetos, manutenções e utilização tanto de equipamentos eletromédicos quanto de instalações elétricas hospitalares[45], [46], [48]. No caso específico de instalações elétricas hospitalares, assunto principal deste trabalho, foi este país o primeiro a publicar estudos e normas específicas relacionadas à necessidade real de estabelecimentos de saúde, isto na década de 60 [44] e [48]. A partir desta iniciativa, muitos países e entidades internacionais de regulamentação passaram a dar mais atenção a este assunto, e já na década de 70 haviam estudos e normas internacionais específicas para instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde [39]. Atualmente todos os países desenvolvidos já adotam procedimentos normatizados para instalações elétricas hospitalares, tanto a nível de projeto, execução e manutenção, quanto de fiscalização.

Como a evolução tecnológica nesta área é muito rápida, existe um constante aperfeiçoamento destas normas e atualmente existe material suficiente para garantir qualidade, confiabilidade e segurança a sistemas elétricos hospitalares.

Seguindo esta tendência, alguns países menos desenvolvidos passaram recentemente a preocupar-se com a regulamentação nesta área e, especificamente, com instalações elétricas hospitalares, muito recentemente [45]. A nível mundial observa-se que a maioria dos países de terceiro mundo não possuem programas de normatização de instalações elétricas hospitalares, pela falta de conscientização dos profissionais e entidades ligadas à área e, principalmente, pela falta de recursos disponíveis [45].

No Brasil, observa-se pela publicação de trabalhos na área, que o impulso inicial para o estudo, regulamentação e utilização de padrões e normas específicos para instalações elétricas hospitalares, deu-se no início da década de 80, como podemos comprovar através da portaria 400 do Ministério da Saúde, publicada em 1983 [51] e o trabalho desenvolvido por Gewehr, titulado “Riscos Elétricos no Ambiente Hospitalar” [31] também publicado em 1983, que pode ser considerado um trabalho pioneiro na área.

Porém, só a partir dos anos 90 é que realmente dedicou-se esforços concretos no sentido de estudar-se e regulamentar-se atividades relacionadas à área. Foi neste período que o COBEI (Comitê Brasileiro de Eletricidade) , iniciou estudos no sentido de publicar uma norma nacional para instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde, utilizando como referência normas internacionais já utilizadas e que resultou na publicação, em maio de 1995, da primeira norma específica para instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde. Também em 1995 o Ministério da Saúde publicou a Portaria 2662 [47], determinando a aplicação desta norma em todos os estabelecimentos do país.

Atualmente, várias entidades estão realizando estudos no sentido de conhecer e implementar esta determinação, vindo de algumas universidades os principais trabalhos nesta área [48], [43], [41], [31], [1], [2] e [35]. Um problema sério a ser enfrentado e superado é o sistema de fiscalização a ser adotado, que será discutido ao longo do trabalho e que sem um sistema eficiente, certamente não serão alcançados os resultados esperados.

O GPEB consciente das necessidades e capacitado para auxiliar no desenvolvimento desta área vem participando das reuniões do COBEI, que através da sub-comissão CB-26, estuda e elabora várias normas aplicadas a equipamentos biomédicos.

2. METODOLOGIA:

Neste capítulo será mostrada a forma como a pesquisa foi conduzida, englobando aspectos relacionados à bibliografia utilizada, desenvolvimento da pesquisa, como foram levantados os dados e a forma como serão apresentadas as soluções.

2.1 BASE BIBLIOGRÁFICA:

O tema deste trabalho é bastante amplo, envolvendo várias disciplinas e assuntos relacionados à área de engenharia elétrica e ciências médicas, em função dele estar diretamente relacionado à aplicação em ambientes hospitalares, mais precisamente, relacionados à segurança e utilização de equipamentos eletromédicos.

Dentro deste contexto, a base bibliográfica pesquisada foi fortemente baseada em bibliografias relacionadas às instalações elétricas, equipamentos eletromédicos e fisiologia humana. Pode-se inclusive distinguir claramente as bibliografias relacionadas a cada área, sendo realizada uma pesquisa a parte para cada área de estudo.

A bibliografia pesquisada relacionada às instalações elétricas é baseada em publicações nacionais e internacionais, e em normas técnicas nacionais e internacionais. Pode-se citar uma série de livros didáticos utilizados no ensino de instalações elétricas em engenharia elétrica, como exemplo, as referências [44], [24], [49] e [43]. Utilizou-se também livros específicos para a área de instalações elétricas hospitalares, como é o caso das referências [40], [43] e [51]. Ainda neste segmento da pesquisa, foram estudadas várias referências de outros pesquisadores do Brasil na área, como é o caso das referências [48] e [31], que se tratam de trabalhos finais de cursos de especialização e mestrado, respectivamente. Artigos publicados no Brasil e no exterior

também foram estudados e estão relacionados nas referências bibliográficas deste trabalho, como exemplo a referência [57].

Foram utilizadas várias referências publicadas por pesquisadores no exterior, principalmente artigos e alguns livros como é o caso da referência [17], [18], [27] e [56].

Ainda no que diz respeito a instalações elétricas, foram utilizadas ao longo da pesquisa uma série de normas nacionais e internacionais ligadas direta ou indiretamente a instalações elétricas hospitalares. As normas nacionais utilizadas são as publicadas pela ABNT na área de instalações elétricas [3 a 14]. Algumas normas internacionais foram utilizadas, como exemplo as referências [39] e [36], que são normas da IEC e que servem como referência para a maioria dos países. Estas normas foram analisadas a fim de referenciar a situação nacional no contexto internacional de normalização nesta área.

Como o trabalho está voltado para a funcionalidade e segurança de equipamentos eletromédicos, foi necessário um estudo sobre esta área de interesse. A bibliografia utilizada foi principalmente publicações estrangeiras na área como artigos e livros didáticos, por exemplo, as referências [56], [17], [38], [55] e [46], normas técnicas nacionais, principalmente a NBR IEC 601.1 [6] e a sua série correlata, que regulamenta os aspectos relativos à segurança elétrica de equipamentos eletromédicos; e ainda algumas normas internacionais, a fim de referenciar a situação do Brasil no contexto internacional e manuais técnicos de equipamentos eletromédicos disponíveis no Hospital Universitário.

Na área de ciências médicas, foi utilizada como bibliografia livros didáticos na área de medicina, principalmente os relacionados a fisiologia humana, podendo citar como exemplo as referências [34], [54] e [53].

Foram utilizados também como apoio bibliográfico, artigos e trabalhos feitos por outros membros do GPEB que trabalham na área de interesse, como é o caso

dos trabalhos dos mestrados Da Paz, titulado “Segurança em Equipamentos de Monitorização em Sala Cirúrgica e UTI - Oxímetro de Pulso, Monitor Cardíaco e Monitor de Pressão Não-Invasivo” [25], Castro, titulado “Estudo de Funcionalidade e Segurança em Unidade Eletrocirúrgica de Alta Frequência” [20], Esperança, titulado “.Estudo de Metodologia para Gerenciamento de Ventiladores Pulmonares” [28] e Beskow, titulado “Estudo Preliminar do Processo de Qualificação em Equipamentos Eletromédicos: Uma abordagem em Engenharia Clínica” [15], todos relacionados a funcionalidade e segurança de equipamentos eletromédicos específicos.

2.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA:

A metodologia utilizada neste trabalho seguiu uma orientação voltada ao aprendizado gradual e integrado ao grupo de pesquisas. Inicialmente a preocupação foi identificar a bibliografia necessária ao início dos trabalhos, tendo em vista que os objetivos estavam bem definidos e que ao longo do desenvolvimento surgiriam novas necessidades de pesquisa bibliográfica. Após identificada e providenciada a bibliografia inicial, iniciou-se um período de estudos no sentido de identificar e conhecer mais profundamente os problemas e tecnologias envolvidas no trabalho e integrá-lo aos objetivos do grupo.

Durante este período, muitas dúvidas e questões surgiram, então percebeu-se que uma integração maior com a estrutura hospitalar existente no Hospital Universitário seria importante e imprescindível para concretização das metas estabelecidas. Novas bibliografias sempre foram incorporadas ao trabalho, principalmente devido ao fato de que as necessidades surgiam na medida que o trabalho evoluía, e por tratar-se de um tema muito relacionado ao dia a dia do hospital, estas necessidades surgiram durante praticamente todo o período.

O relacionamento direto com a estrutura de manutenção e apoio técnico do HU foi importantíssima, e a preocupação sempre foi de não distanciar a pesquisa teórica da realidade dos hospitais, especificamente o HU. O trabalho foi desenvolvido também de maneira totalmente integrada ao Núcleo de Engenharia Clínica do GPEB (NEC), do qual fazia parte, acompanhando o desenvolvimento de outros trabalhos na área, aos quais esta pesquisa serviria como apoio e referência. Esta integração também foi fundamental para os resultados alcançados.

Como uma das propostas do trabalho era apurar a situação das instalações elétricas de alguns hospitais da Grande Florianópolis, e se constatou que a realidade do HU era totalmente diferente das dos outros hospitais, foi necessário um sistema de cadastramento padronizado para caracterizar a situação de uma instalação elétrica hospitalar e poder facilmente, e com garantias, realizar comparações com as normas. Foram levantadas a situação das instalações elétricas do ponto de vista de utilização e segurança para equipamentos eletromédicos dos seguintes hospitais: Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina, Hospital Infantil Joana de Gusmão, Hospital Nereu Ramos, Hospital de Caridade, Hospital Regional Homero de Miranda Gomes e Maternidade Carmela Dutra.

Um relacionamento com profissionais ligados à área de projetos e manutenção das instalações desta estrutura também foi muito importante para o trabalho, e se procurou, sempre que possível, a troca de experiências, promovendo a integração teórica com a prática. Os resultados desta integração foram muito interessantes tanto para esta pesquisa como para aqueles profissionais. Também foi importante estabelecer esta parceria, a fim de que não houvesse resistência e falta de apoio aos levantamentos realizados.

As conclusões e propostas de soluções apresentadas neste trabalho foram estabelecidas ao final da pesquisa, incorporando já toda a experiência adquirida e identificando a necessidade mais urgente destes estabelecimentos e, principalmente,

procurando fazer com que este trabalho venha a se tornar uma referência, tanto para novas pesquisas na área, como para soluções de problemas práticos e necessários no dia a dia hospitalar.

2.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS:

Como descrito no item 2.2 deste capítulo, o levantamento dos dados referentes a situação das instalações elétricas destes hospitais era fundamental para os objetivos da pesquisa. Surgiram então várias questões de como estes dados deveriam ser levantados e analisados.

O objetivo principal deste levantamento era obter-se informações para que fosse possível uma comparação às normas nacionais de instalações elétricas para estabelecimentos de saúde existentes, enfatizado nas instalações para utilização de equipamentos eletromédicos. Logo, um estudo aprofundado das normas era necessário antes de ir-se a campo coletar informações. Neste ponto do trabalho surgiu um impasse: o quanto aprofundar este levantamento do ponto de vista técnico a fim de que estas informações fossem suficientes e confiáveis para uma avaliação segura.

Verificou-se que seriam mais importantes, dentro da realidade encontrada nos hospitais pesquisados, informações qualitativas, levantando aspectos básicos e fundamentais destas instalações, como exemplo informações relativas a existência ou não de sistemas isolados e aterramento em salas de cirurgia, avaliando o estado geral destas instalações, não preocupando-se com avaliações dos valores de impedância apresentados por estes sistemas no caso de estarem presentes. Esta conclusão foi obtida em função de verificar-se que a maioria dos hospitais não possuem praticamente nenhuma instalação incorporando exigências mínimas previstas pela norma, sendo necessária uma revisão e alteração destas instalações para que pudessem ser realizadas as medidas e,

particularmente, no caso do exemplo do sistema isolado, praticamente nenhum apresentava este tipo de sistema nos locais previstos em norma.

Então, foi elaborada uma ficha padrão onde deveriam ser informadas determinadas observações que possibilitariam referenciar a instalação em seus aspectos básicos com a norma específica.

Com estas fichas preenchidas, foi possível avaliar a situação destes hospitais com relação às normas regulamentadoras de instalações elétricas hospitalares e apresentar-se propostas de soluções para o enquadramento caso fosse necessário, ta considerado satisfatório para os objetivos deste trabalho, ficando uma análise mais apurada para trabalhos futuros e após mudanças necessárias nestas instalações.

2.4 SOLUÇÕES PROPOSTAS:

Neste item não se pretende apresentar as soluções propostas na introdução deste documento, e sim a maneira como se pretendia concluir e a maneira de determinar quais seriam as melhores soluções aos problemas detectados. O indicador para avaliar se alguma instalação elétrica deveria sofrer modificações eram as fichas preenchidas durante o levantamento e um relatório emitido para cada um dos hospitais visitados.

A partir deste relatório era possível propor-se soluções, porém ao longo do trabalho verificou-se que seria importante uma análise mais apurada da situação destes hospitais não só perante as normas, mas principalmente perante a realidade financeira e técnica dos mesmos, como também uma colocação referente a prioridades na estrutura hospitalar como um todo.

O que se observou foi uma total falta de informação dos profissionais responsáveis por decisões relacionadas à infra-estrutura hospitalar, principalmente no que se refere à segurança e exigências para instalações elétricas hospitalares. Aliado a isto, a falta de recursos e de mão-de-obra especializada nos hospitais vêm agravar a situação.

Logo, era importante determinarmos soluções cabíveis, emergenciais a curto prazo para que pudessem ser executadas.

Então, uma adequação da norma à realidade destes hospitais tornou-se necessária, a fim de determinar pontos principais a serem solucionados em cada um dos hospitais analisados, e se possível, padronizar estas soluções, tendo em vista que os principais problemas encontrados eram comuns a todos os hospitais.

Como uma das soluções, propõe-se incluir uma proposta para elaboração de um programa de treinamento, para profissionais ligados à área de manutenção elétrica de hospitais e usuários, a fim de garantir que a estrutura continue funcionando adequadamente.

No capítulo específico para soluções e conclusões, estes temas voltarão a ser abordados com mais profundidade.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo, pretende-se introduzir conceitos relacionados às instalações elétricas e assuntos ligados aos objetivos do trabalho, como noções de risco elétrico, choque elétrico, qualidade da energia elétrica e equipamentos eletromédicos. Desta forma, pretende-se fornecer informações e conhecimentos importantes para abordagens futuras neste trabalho.

3.1 INTRODUÇÃO À PROJETOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

A tarefa de projetar um sistema elétrico para qualquer tipo de edificação pode ser definida como *o projeto para dispor condutores e equipamentos elétricos de modo a proporcionar com segurança, confiabilidade e qualidade a transferência de energia elétrica desde uma fonte até os dispositivos que deverão ser alimentados, propiciando que a instalação atinja os objetivos ao qual se propõe [44]*.

Segundo Joseph F. McPartland et al [44], a tarefa de projetar um sistema elétrico pode ser dividido em três etapas básicas:

1. Selecionar os conceitos básicos de instalação elétrica e configurações que irão proporcionar o fornecimento de energia elétrica, com as características desejadas a cada um dos pontos de utilização;
2. Implementar os circuitos planejados com condutores, aparelhos e acessórios, escolhendo os respectivos tipos, tamanhos, modelos, características, valores nominais e outras especificações necessárias;
3. Considerar a colocação do sistema elétrico global, determinado nas duas etapas anteriores, dentro das dimensões e da estrutura do prédio, mostrando, tão claramente quanto possível, as localizações dos equipamentos, os respectivos detalhes de

montagem, percurso de eletrodutos, as ligações com as linhas principais de alimentação e quaisquer outros elementos que requeiram atenção especial.

Estas etapas estão necessariamente inter-relacionadas, e qualquer decisão tomada numa delas afetará os elementos correspondentes nas outras.

Como resultado, um projeto elétrico torna-se uma estrutura complexa e que deve ser muito bem detalhada sob forma de esquemas elétricos, plantas de instalação, diagramas unifilares, esquemas de prumadas, detalhes de instalação, memoriais descritivos, listas de materiais, enfim, tudo que seja necessário ao correto entendimento e execução do projeto.

Porém, para realizar um projeto elétrico correto e adequado que realmente venha a atender às necessidades ao qual se propõe, existem outros fatores que devem ser levados em consideração.

A especificação do projeto seria um destes fatores que pode ser considerado o mais importante e decisivo na elaboração de um projeto. Um bom projeto elétrico, independente do tipo de edificação, depende principalmente de uma especificação adequada.

É fundamental que o projetista esteja habilitado tecnicamente para execução do projeto e familiarizado com as necessidades para as quais a edificação está sendo projetada. Além disto, é importante entender perfeitamente a relação existente entre a tecnologia pura e fatores como segurança, crescimento de carga, flexibilidade no uso do sistema e disposição adequada dos diversos elementos. A partir desse entendimento, certamente resultará numa especificação adequada ao projeto elétrico.

Este estudo inicial deve, acima de tudo, estar relacionado com padrões modernos de tecnologia. Como tanto a tecnologia relacionada a projetos elétricos, quanto a relacionada a equipamentos diversos e que serão utilizados em uma edificação no seu dia a dia é extremamente dinâmica e está em constante processo de evolução, é fundamental ao projeto prever que a instalação esteja adequada a receber novas

tecnologias ao longo de sua vida útil. O projeto elétrico não é uma simples rotina de utilizar fórmulas e formas padronizadas. Envolve um entendimento de antigas técnicas de instalação, consagradas pelo uso, e exige a combinação harmoniosa entre antigas e novas tecnologias, além da possibilidade de conceber-se soluções originais para novas aplicações ou necessidades.

Então fica claro a necessidade, de antes do início de qualquer projeto elétrico, que seja realizado um estudo e planejamento de tecnologias e se conhecer com profundidade os propósitos da edificação e sua possível evolução.

Em um projeto elétrico, deve-se sempre ter em mente que o sistema deverá fornecer energia elétrica sem perigo para vidas e propriedades, com suficiente capacidade para suportar futuros crescimentos de carga e mudanças de *lay-out*.

Na questão sobre capacidade de fornecimento atual e futura, ou seja, o sistema deve estar capacitado a suportar crescimentos de carga e alterações para suportar este crescimento, significa que os elementos constituintes da instalação elétrica, principalmente condutores, eletrodutos, subestações, chaves e dispositivos de proteção devem possuir capacidade nominal necessárias para o projeto. A capacidade de reserva, deve refletir-se sobre todo o sistema elétrico, desde a fonte de suprimento até os circuitos finais.

Esta previsão de crescimento de carga é atualmente a consideração mais negligenciada nos projetos elétricos das instalações existentes. Isto pode ser observado em casos de modernização de instalações elétricas de edificações já existentes, onde por exemplo, encontra-se prumadas com eletrodutos completamente cheios, os condutores neles contidos já estão operando a plena carga, quando não já sobrecarregados. Na maioria dos prédios comerciais mais antigos, o sistema elétrico está próximo da saturação ou já a atingiu, causando além de muito transtornos aos usuários, um risco iminente à vida e segurança das instalações.

Em uma análise mais detalhada, um projeto elétrico deve basear-se na completa identificação e apreciação das características de um sistema. Deve-se inicialmente analisar o tipo de edificação, suas cargas e fonte de alimentação. Isso envolve a determinação de todas as necessidades elétricas usuais e especiais para o prédio. Deve-se levar em conta principalmente as atividades a serem desenvolvidas e a natureza do uso da energia elétrica pelos usuários.

Outra consideração preliminar importante diz respeito às características da fonte de alimentação, que poderá ser o sistema de uma concessionária de energia ou geração própria, ou ambas. Geralmente as edificações são alimentadas através da concessionária, ficando a geração própria para casos específicos de determinados tipos de edificações, seja por necessidade de não poder haver interrupção no fornecimento de energia ou por condições de gerar sua própria energia. Isto nos obriga a colocar que um projeto, necessariamente, deverá ser submetido a aprovação por parte das empresas concessionárias de cada Estado, sendo importante o conhecimento das normas impostas na região em que o projeto for implementado.

Um aspecto, também importante na fase inicial, mas que deve ser observado durante toda a realização do projeto e execução das instalações, diz respeito a padronização dos procedimentos e tipos de equipamentos e dispositivos a serem utilizados. A máxima padronização possível nos tipos de equipamentos, dispositivos e valores nominais deve ser sempre objetivo do projeto, porque isto resultará em uma economia considerável, tanto a nível de consumo de energia elétrica, como na aquisição dos mesmos. Aliado a estas vantagens, está o fato de que padronizando os procedimentos e técnicas utilizadas, facilitará muito a execução das instalações e a sua manutenção.

A falta de padronização em um sistema elétrico implicará em complicações na execução, interpretação, manutenção do sistema, dificultará a reposição de peças e equipamentos, aumentará os estoques necessários e reduzirá o rendimento do pessoal envolvido na execução e manutenção.

Em resumo, qualquer projeto elétrico deve considerar os seguintes aspectos, segundo McPartland et al [44]:

Flexibilidade: dependendo do tipo de edificação, o sistema deverá ser projetado para prover a necessária flexibilidade na distribuição e nos circuitos. Deve ser possível admitir mudanças na localização de equipamentos e dispositivos, a fim de permitir o uso completo e adequado da capacidade de fornecimento de energia nas diversas áreas da edificação.

Acessibilidade: qualquer sistema elétrico deve possuir alto grau de acessibilidade, que se trata da capacidade que o projeto oferecerá para que depois de executado, facilite o acesso para manutenções e alterações. Isto passa necessariamente por uma documentação do projeto, completa e clara.

Confiabilidade: dependendo da natureza das atividades a serem desenvolvidas na edificação, a continuidade de fornecimento de energia e a confiabilidade global da instalação podem ser de maior ou menor importância. Independente do tipo de instalação e, principalmente, naquelas em que a interrupção no fornecimento de energia pode ser imprescindível à manutenção da vida ou oferecer risco a equipamentos e usuários, este aspecto deve ser bastante relevante na confecção do projeto. A fim de garantir confiabilidade, é fundamental além do que já foi apresentado, utilizar-se materiais de boa qualidade na execução do projeto.

Segurança: esta meta deve ser considerada uma orientação fundamental para a execução de qualquer projeto, independente do tipo de instalação elétrica. A segurança deve ser voltada tanto para evitar acidentes com riscos para a vida, como também para evitar danos a equipamentos e infra-estrutura física. Para atingir os objetivos de segurança, é importante que as normas existentes sejam respeitadas, tanto a nível de projeto, como a nível de execução e manutenção.

É importante entender que existe uma teoria aplicada a confiabilidade de sistemas elétricos, que inclui tratamentos estatísticos e que está muito bem apresentado

nas referências [58] e [59]. Não deve-se entender confiabilidade como qualidade da energia elétrica ou da instalação elétrica e sim como um dos indicadores da qualidade global do sistema elétrico.

3.2 NORMATIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS NO BRASIL

Frente ao que foi colocado no item anterior, fica claro que os profissionais que venham a projetar sistemas elétricos, além de uma boa formação técnica e habilitação para exercer a atividade na área, regulamentado pela legislação profissional do CREA [23], devem possuir experiência e consciência dos riscos envolvidos em um projeto deficiente.

Para garantir que instalações elétricas no Brasil atinjam os objetivos já expostos, independente da experiência dos profissionais envolvidos na elaboração dos projetos, órgãos regulamentadores tem procurado adotar uma padronização das instalações elétricas, tanto a nível de procedimentos e conceituação em projetos, como também em procedimentos para execução e manutenção dos mesmos. A nível nacional, o órgão responsável pela elaboração e publicação de normas técnicas específicas para a área de instalações elétricas é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através do Comitê Brasileiro de Eletricidade (COBEI), que exerce a função de coordenação das atividades de normatização técnica no setor Eletro-Eletrônico nacional. A ABNT conta atualmente com aproximadamente 1360 normas publicadas na área (17% do acervo da ABNT) [14], sendo neste número incluída com a área de eletrônica.

Especificamente na área de instalações elétricas, a principal norma nacional para projetos de instalações elétricas é a NBR-5410 [9] de 1990, regulamentadora de todos os tipos de instalações elétricas de baixa tensão. Associada a esta norma, existem outras que regulamentam projetos de determinados tipos de

instalações e de utilização específica que necessitam de regulamentação exclusiva, como é o caso de instalações elétricas hospitalares, de ambientes explosivos, etc....

Muitas normas publicadas são relativas à regulamentação de fabricação de componentes utilizados em instalações elétricas, não sendo de interesse do trabalho. Serão abordadas aqui normas relativas exclusivamente às instalações elétricas e, caso seja necessário, outras normas de apoio, ligadas por exemplo, a ventilação de centros cirúrgicos [14].

Pode-se citar as seguintes normas aplicáveis a um projeto elétrico, que garantiriam com certeza os objetivos propostos no item anterior, devendo ser considerada a característica para qual a edificação será utilizada, ou seja, deve-se selecionar quais normas irão ser aplicadas em função do tipo e objetivo de uma edificação:

- NBR-0534 de 1958 - Requisitos Gerais para Material de Instalações Elétricas Prediais: Fixa características gerais mínimas que devem satisfazer os materiais próprios para serem usados nas instalações, cuja tensão nominal entre condutores ou entre qualquer condutor e a terra não exceda 250 V.
- NBR- 5410 de 1990 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Fixa condições nas quais devem ser estabelecidas e mantidas as instalações alimentadas sob uma tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em CA, com frequências inferiores a 1000 Hz, ou 1500 V em CC, a fim de garantir seu bom funcionamento, a segurança das pessoas, animais domésticos e conservação dos bens.
- NBR - 5419 de 1970 - Proteção de Edificações Contra Descargas Atmosféricas: Fixa requisitos mínimos exigidos nos estudos, projetos e instalações de para-raios comuns em edificações, no sentido de protegê-las contra descargas, bem como na escolha dos materiais a serem empregados e no sistema de controle e manutenção.
- NBR - 5473 de 1986 - Instalação Elétrica Predial: Define termos básicos relacionados com instalações de utilização de energia elétrica em edifícios e em locais equivalentes.

- NBR - 5422 de 1984 - Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica: Fixa princípios básicos segundo os quais devem ser projetadas as linhas aéreas, de modo a garantir níveis mínimos de segurança e perturbações em instalações próximas.
- NBR - 5444 de 1988 - Símbolos Gráficos Para Instalações Elétricas Prediais: Estabelece símbolos gráficos referentes às instalações elétricas prediais.
- NBR - 5413 de 1991 - Iluminância de Interiores: Estabelece valores de iluminâncias médias em serviços para a iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras.
- NBR - 10898 de 1988 - Sistema de Iluminação de Emergência: Fixa condições mínimas para que a iluminação de emergência a ser executada em edifícios altos e de afluência de público, garanta visibilidade adequada para movimentação segura das pessoas para saída em qualquer tempo e circunstância.
- NBR - 8769 de 1983 - Diretrizes Para Especificação de Um Sistema de Proteção Completo: Fixa diretrizes necessárias para a especificação de um sistema de proteção completo, bem como as especificação para tais sistemas, de maneira a complementar as especificações para as partes componentes desses sistemas.
- NBR - 5418 de 1969 - Instalações Elétricas em Ambientes com Líquidos, Gases ou Vapores Inflamáveis: Fixa requisitos de segurança aplicáveis às instalações elétricas onde sejam processados, manuseados ou utilizados líquidos, gases ou vapores inflamáveis, cujas misturas com o ar sejam passíveis de risco de ignição provocada por fonte de energia elétrica.

É importante ressaltar que estas são as principais normas relacionadas às instalações elétricas e que muitas vezes são complementares ou, em alguns casos, redundantes. É importante observar que caso haja dúvida durante um projeto ou

necessidade de maior detalhamento, existem outras normas que poderão ser utilizadas, porém com as apresentadas é possível realizar um projeto de qualidade.

Existem ainda normas editadas pelas concessionárias de energia de cada Estado, e no caso de Santa Catarina, podemos citar a Norma para Atendimento a Edifícios de Uso Coletivo, NT-03 [22], que regulamenta instalações elétricas para edifício de uso coletivo. No caso de projetos que venham a ser aprovados pela CELESC, é importante seguir também esta norma.

Com as normas apresentadas é possível fazer projetos para praticamente todos os tipos de instalações, desde residenciais à industriais, inclusive de estabelecimentos assistenciais de saúde, tema deste trabalho. Porém, está claro que alguns tipos de instalações exigem maiores cuidados e exigências do que outras. Podemos citar como exemplo, instalações industriais e de estabelecimentos assistenciais de saúde. No caso de instalações industriais, a preocupação maior são com máquinas e equipamentos ligados à produção e administração, havendo uma quantidade boa de normas e bibliografias de interesse, que no caso deste tipo de instalação, trata-se basicamente de instalação comercial e industrial juntas.

No caso de estabelecimentos assistências de saúde, particularmente hospitais, encontram-se praticamente características de todos os tipos de instalação, desde residenciais, comerciais até industriais, porém com um detalhe: algumas partes da instalação estão voltadas diretamente à manutenção da vida ou diagnósticos de patologias. Atualmente utilizam-se equipamentos cada vez mais desenvolvidos tecnologicamente e que, aliado a conceitos de segurança, exigem instalações específicas e muito bem dimensionadas. Até 1995, a maioria dos projetistas utilizavam as normas apresentadas como referência para projetos deste tipo de estabelecimento, ficando a cargo da experiência do profissional a adaptação às reais necessidades de um estabelecimento de saúde.

Muitas pesquisas foram realizadas a respeito das necessidades de funcionalidade e segurança de equipamentos e instalação elétricas em hospitais, e junto a uma tendência internacional, a ABNT e COBEI, através da Comissão de Estudos de Instalações Elétricas em Estabelecimentos Médico-Hospitalares (CE-03:064.08) publicou em 1995 a norma NBR - 13534 - Instalações Elétricas para Estabelecimentos Assistenciais de Saúde, que regulamenta e fixa prescrições de segurança e funcionalidade de instalações elétricas destes estabelecimentos. Esta norma foi baseada no documento IEC 64(S)629 (projeto da IEC 364-7-710). Logo, atualmente, tem-se uma nova referência que deve ser adotada para novos projetos e adaptação das instalações existentes; o detalhamento da normatização para projetos em estabelecimentos de saúde será apresentada no capítulo 5.

No que diz respeito a equipamentos eletromédicos no Brasil, a preocupação com segurança e normatização vem desde 1970 [15], envolvendo fabricantes, representantes de hospitais públicos e privados, institutos de pesquisa, órgãos governamentais, entidades de classe e profissionais em geral. As atividades até então eram coordenadas pela Comissão Técnica de Equipamentos Geradores de Radiação Ionizantes e Aparelhos Eletromédicos (CT-62) do COBEI.

Em um esforço conjunto do programa PROEQUIPO (Programa de Equipamentos Odonto-médico-hospitalares) desenvolvido pelo Ministério da Saúde a partir de 1990, da ABIMO (Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios) e das Comissões Especiais do CT-62, estabeleceram-se , a partir de 1993, condições para o desenvolvimento dos projetos de norma da série NBR IEC 601, baseada em normas IEC [15]. Esta série apresenta prescrições de segurança de equipamentos eletromédicos.

Em 1994 foi publicada pela ABNT a norma técnica NBR IEC 601-1 - Equipamento Eletromédico Parte I - Prescrições Gerais de Segurança, hoje a principal norma nacional para equipamentos eletromédicos junto com sua série [15].

Existe atualmente no Brasil uma preocupação, já demonstrada pelo Ministério da Saúde, com o problema de qualificação e certificação de equipamentos eletromédicos, e um detalhamento e aprofundamento nestas questões pode ser obtido no trabalho de Beskow [15].

3.3 RISCO ELÉTRICO NO USO DE ELETRICIDADE EM AMBIENTE HOSPITALAR

A utilização cada vez maior de equipamentos eletromédicos no dia a dia de um estabelecimento de saúde, apresenta uma preocupação que vai além dos problemas relacionados à funcionalidade correta destes equipamentos, a fim de que se possa obter confiabilidade tanto a nível de exames como de tratamentos, o que origina um novo risco e preocupação, tanto para usuários, como para pacientes, que é o choque elétrico. Neste item, pretende-se introduzir conceitos relacionados à interação da eletricidade com o organismo humano, conceitos relacionados a choque e sua prevenção e origens de risco elétrico em um ambiente hospitalar.

3.3.1 Conceitos de macro-choque e micro-choque

No relacionamento de instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde com equipamentos eletromédicos e segurança elétrica, é importante conhecer claramente os conceitos de macro-choque e micro-choque, bem como as possibilidades de ocorrência no ambiente de interesse.

Macro-choque pode ser definido como sendo o choque em que a corrente elétrica entra no corpo humano pelo lado externo [41], ou é aquele choque provocado por contatos estabelecidos externamente ao corpo humano, ou seja, com a pele intacta [48]. A corrente entra pela pele, percorre o corpo e sai novamente pela pele. A corrente fica

limitada praticamente pela resistência da pele humana. É o choque mais comum em situações de risco elétrico, onde em um ambiente hospitalar qualquer pessoa pode estar susceptível a este tipo de acidente.

Micro-choque é aquele que ocorre no interior do corpo humano, de acordo com Kindermann [41]. Atualmente os pesquisadores tendem a caracterizar micro-choque de acordo com a definição de Kindermann, sendo esta a considerada mais adequada para este trabalho, isto porque, no caso de correntes de fuga ou diferenças de potencial de superfícies aterradas em que pessoas venham a ter contato, originando um choque elétrico, tal pode ocorrer em carcaças de equipamentos eletromédicos e pode se dar por um contato externo, tanto por usuários como por pacientes. No caso de aplicações médicas, muitos equipamentos são utilizados em procedimentos invasivos, como exemplo, cateterismos, onde o paciente está exposto ao risco de uma descarga elétrica interna ao seu corpo, ao contrário do operador deste tipo de equipamento, que dificilmente estará exposto a micro-choques; daí a importância desta diferenciação em um ambiente hospitalar.

Ao longo deste trabalho, estas definições serão utilizadas com frequência, sendo importante compreendê-las, podendo-se ainda complementar a classificação de choque elétrico como sendo do tipo dinâmico ou estático.

Choque dinâmico pode ser considerado como o choque tradicional, que é causado ao se tocar algum elemento energizado a partir da rede elétrica e ocorre, normalmente, pelo toque na parte viva de condutores energizados, defeito, fissura ou rachadura na isolação, energização de outros componentes de equipamentos, como carcaças, e acidentes na rede de energia elétrica em geral, etc....

Choques estáticos são aqueles obtidos através da descarga de um capacitor [41]. Geralmente as cargas elétricas ficam acumuladas nas capacitâncias parasitas de equipamentos. Portanto este choque se dá pelo escoamento destas cargas elétricas no corpo humano. Normalmente este tipo de choque não é perigoso para as pessoas, podendo

causar maiores danos no próprio equipamento, por exemplo, devido a circulação de correntes não previstas e elevadas para algum circuito eletrônico.

3.3.2 Interação eletricidade x organismo humano - O choque elétrico

É importante para a compreensão dos riscos envolvidos na descarga elétrica em seres vivos, especificamente em seres humanos, conhecer com clareza o que é o choque elétrico e como é a interação da eletricidade com o organismo humano. Basicamente o entendimento dos efeitos da corrente elétrica no corpo humano é de fundamental importância para a prevenção e combate aos riscos provenientes do choque elétrico. Deve-se sempre ter em mente que os efeitos de um choque elétrico dependerão de uma quantidade grande de fatores, porém sempre estarão relacionados à intensidade de corrente que circulará pelo corpo, região e tempo de exposição que a pessoa tem à corrente. Pode-se então, analisar um choque como sendo de alta ou baixa intensidade, pois daí resultarão consequências diferentes ao ser humano.

Um choque elétrico pode ser definido, de acordo com Kindermann [41], como sendo uma perturbação de natureza e efeitos diversos que se manifestam no organismo humano quando este é percorrido por uma corrente elétrica, e que os efeitos dependerão principalmente dos seguintes aspectos, Apud Kindermann [41]:

- percurso da corrente elétrica pelo corpo humano;
- intensidade da corrente elétrica;
- tempo de duração do choque elétrico;
- área de contato;
- pressão de contato;
- espécie da corrente elétrica;

- frequência da corrente elétrica;
- tensão elétrica;
- espraçamento da corrente de choque pelo corpo humano;
- condições da pele do indivíduo;
- região do choque no corpo humano;
- constituição física do indivíduo;
- outras condições do indivíduo, como existência de próteses metálicas e marcapasso/

As perturbações e sintomas geralmente se manifestam por, Apud Kindermann [41]:

- inibição dos centros nervosos, podendo provocar parada respiratória;
- alteração no ritmo cardíaco, podendo produzir fibrilação ventricular e conseqüentemente parada cardíaca;
- queimaduras, tanto superficiais como profundas, podendo necrosar o tecido;
- alterações no sangue provocadas por efeitos térmicos e eletrolíticos da corrente elétrica;
- perturbação no sistema nervoso;
- seqüelas em vários órgão do corpo;
- contrações musculares;
- tetanização dos músculos;
- aquecimento do músculo, órgão e sangue;
- problemas renais;
- problemas mentais;
- perdas de memória;

- retenção sangüínea;
- outros...

Um choque elétrico pode ser causado por dois tipos de corrente, a contínua e a alternada, e mais precisamente para este trabalho, nos interessam as correntes alternadas senoidais nas frequências de 50 e 60 Hz.

É importante salientar que é a densidade associada a intensidade de corrente elétrica percorrendo o corpo humano que poderá causar maiores danos, e estes fatores dependerão principalmente da área e resistência elétrica respectivamente, imposta à passagem desta corrente, sendo que o corpo humano pode ser considerado um bom condutor de corrente elétrica, principalmente devido a sua constituição possuir grande quantidade de água. Fatores externos também influem na intensidade de corrente, como por exemplo umidade da pele. Associado a este fato, coloca-se o percurso, o espalhamento e a duração da corrente pelo corpo humano como também sendo fatores importantes para as consequências do choque.

Na maioria dos choques elétricos, a corrente segue o percurso de menor resistência elétrica da região de contato com alguma parte energizada para a terra. O espalhamento da corrente vai se dar de acordo com a condutividade dos órgãos e pela seção transversal das regiões do corpo por onde circulará a corrente. A densidade de corrente será inversamente proporcional à área desta seção transversal.

A região de contato do corpo humano com alguma parte energizada é que definirá a região de penetração da corrente no corpo humano, e quanto maior esta região, maior será a corrente de penetração. No caso de a área de contato ser muito pequena, é possível que mesmo para correntes muito pequenas e que não causem queimaduras no percurso pelo corpo humano, a região da pele sofra danos com queimaduras.

No que diz respeito à duração do choque elétrico, pode-se afirmar que quanto mais tempo persistir o choque, maiores serão as suas consequências.

Normalmente esta duração está associada à circunstância em que ocorre o contato com alguma parte energizada. Na maioria das vezes, existe o toque acidental com alguma parte energizada de equipamentos ou condutores da instalação elétrica, quando ocorre uma contração involuntária dos músculos, muitas vezes livrando a pessoa do contato com o elemento energizado. Porém, em um sistema elétrico podem ocorrer defeitos como curto-circuito com carcaças de equipamentos e que elevam os potenciais elétricos destas e em caso de um toque, faz com que circule uma corrente elétrica pelo corpo humano. Neste caso, a instalação deve prever um sistema de proteção que desligue o fornecimento de energia elétrica ao equipamento, o que pode ser obtido através de um bom sistema de aterramento conciliado a uma boa sensibilidade do sistema de proteção, diminuindo o tempo de exposição ao choque elétrico. O tempo de atuação da proteção deve ser inferior ao limite que causa fibrilação ventricular no coração [41].

Como já foi citado, a intensidade de corrente elétrica dependerá principalmente da resistência imposta à passagem pelo corpo humano e da diferença de potencial aplicado. O corpo humano pode ser considerado como uma massa eletrolítica e, desta maneira, um bom condutor de corrente elétrica. A resistência imposta pelo corpo à passagem da corrente dependerá de vários fatores, onde os principais são as barreiras impostas à passagem da corrente e o valor de tensão aplicada. No caso de macro-choques, as barreiras são impedâncias formadas pela pele humana na entrada e saída da corrente e a parte interna do corpo. Em micro-choques, não existe a resistência da pele humana. Com relação à tensão aplicada, a resistência diminui com o aumento dos valores de tensão, de maneira que o comportamento da resistência do corpo em relação ao nível de tensão elétrica do choque é contrária a segurança humana [41].

Um circuito proposto por Freiburger [30], Apud Kindermann [41], para representar a impedância do corpo humano em casos de macro e micro-choques em corrente alternada de 50Hz, e atualmente aceito pela maioria dos pesquisadores, é

apresentado na figura 3.4.1.1. É composto por três impedâncias, Z_{pele1} , Z_{pele2} e $Z_{interna}$, associadas em série compondo a impedância total oferecida pelo corpo.

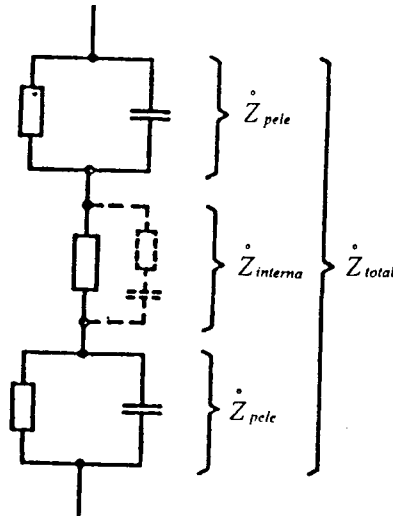


Figura 3.4.1.1 - Modelo equivalente de impedância do corpo humano, *Apud* Kindermann [41]

Segundo Dalziel [26], o valor máximo de resistência elétrica oferecida pelo corpo humano entre as extremidades, isto é, o maior percurso de corrente possível, é de 500 ohms. Em uma pesquisa realizada por U. Sam [50], este pesquisador determinou a resistência interna do corpo para várias possibilidades de percurso da corrente. Os resultados podem ser observados na figura 3.4.1.2.

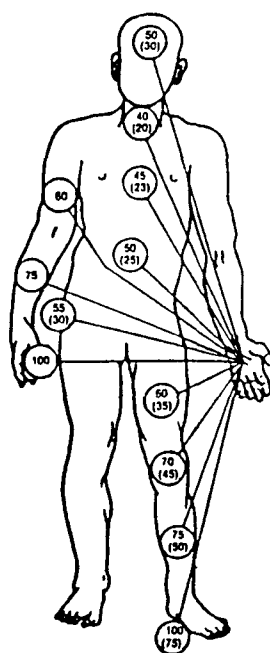


Figura 3.4.1.2 - Resistência interna do corpo humano para diferentes percursos, *Apud* Kindermann [41]

Os valores mostrados na figura são valores percentuais da resistência interna entre as duas mãos, relativos ao percurso considerado. O número entre parênteses representa o valor percentual da resistência interna do corpo, relativo ao percurso da corrente entre as duas mãos segurando um eletrodo energizado e o ponto considerado, em relação a resistência entre as duas mãos [41].

Como a pele humana é um fator preponderante para os valores de resistência impostas pelo corpo humano, é importante a análise do seu estado no caso de choques elétricos. A pele humana equivale a aproximadamente 14% do peso total do corpo [41], e é composta basicamente de duas partes, derme e epiderme. A epiderme é a parte externa da pele e é composta por glândulas e pelos, com constituição seca e escamosa, podendo ser considerada uma má condutora, sendo que sua resistência varia principalmente com a umidade no momento do choque elétrico. Já a derme é constituída de vasos sanguíneos e nervos, logo é úmida e uma boa condutora de corrente elétrica. A

impedância da pele dependerá principalmente dos seguintes fatores: tensão de contato, frequência elétrica, duração, área de contato, pressão de contato, umidade da pele e temperatura da pele [41].

Biegelmeier [16], efetuou medições em seres vivos e em cadáveres, aplicando tensões de até 150 V (em seres vivos) extrapolados até 700 V e os resultados são apresentados na figura 3.4.1.3.

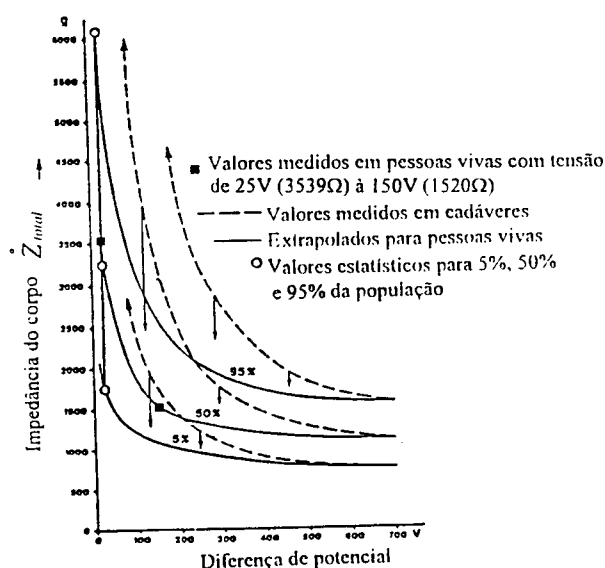


Figura 3.4.1.3 - Impedância total do corpo humano x tensão de contato, *Apud* Kindermann [41]

Atualmente estes valores são aceitos para até 250 V, porque a partir desta tensão a pele é danificada, mudando o perfil da impedância do corpo.

Já foram realizadas várias pesquisas afim de avaliar com precisão os efeitos da corrente elétrica no corpo humano, porém existe uma dificuldade, pois o número de variáveis envolvidas é grande. De acordo com a figura 3.4.1.4, que é uma tentativa de equacionar os efeitos do choque em relação ao tempo de duração do mesmo

para correntes de 50 e 60 Hz, pode-se verificar a existência de três zonas bem distintas que caracterizam consequências do choque elétrico.

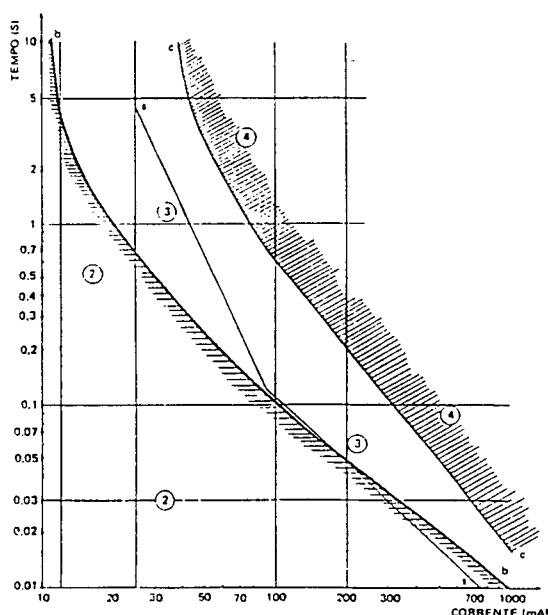


Figura 3.4.1.4 - Corrente x tempo de choque, *Apud* Kindermann [41]

Na zona 2 normalmente nenhum efeito patofisiológico é observado. Na zona 3, produz-se algum efeito perigoso, sendo o mais importante os relacionados ao pulmão para correntes elevadas nesta faixa. Pode haver risco de fibrilação ventricular nesta faixa. A zona 4 caracteriza-se como muito perigosa, sendo que existe a probabilidade de ocorrer fibrilação ventricular em 50% das pessoas. A curva S, cuja assíntota é o valor de 25 mA é uma curva de segurança com probabilidade de 0,5% de ocorrência de fibrilação ventricular. A análise da curva vai até a faixa de 1 A, porque a partir deste valor, os efeitos térmicos são mais danosos que qualquer outro.

A tabela 3.1, mostra com mais clareza os possíveis efeitos e consequências para pessoas, da variação da corrente elétrica, tanto contínua com alternada, nas frequências de 50 e 60 Hz.

I (CA) mA	I (CC) mA	Reação fisiológica	Consequências
< 25	< 80	1 mA (CA) - Limiar de sensibilidade 5-15 mA (CA) - Contração muscular 15-25 mA (CA) - Contrações violentas, problemas respiratórios	Se a corrente for próxima de 25 mA, pode haver asfixia e conseqüente morte aparente
25-80	80-300	- Sensação insuportável; - Contrações violentas; - Asfixia	Morte Aparente
> 80	> 300	- Asfixia imediata; - Fibrilação ventricular; - Alterações químicas - Queimaduras	- Morte Aparente
Ordem de Ampères	Ordem de Ampères	- Queimaduras - Necrose de tecidos - Fibrilação ventricular - Asfixia imediata - Danos posteriores, resultantes da eletrólise do sangue.	- Morte Aparente - Sequelas ou morte em função das queimaduras

Tabela 3.1 - Efeitos da corrente elétrica no corpo humano, *Apud* Kindermann [41].

No caso específico para correntes senoidais de 60 Hz, o corpo humano tem um comportamento levemente capacitivo que não produz nenhum efeito que venha a causar maior ou menor dano. O comportamento da contração muscular para uma corrente senoidal de mesma amplitude, porém com variação na frequência, é apresentado

na figura 3.4.1.5 e a figura 3.4.1.6 mostra curvas que relacionam amplitudes de correntes senoidais de 60 Hz versus frequência, para mesmas condições de contrações musculares.

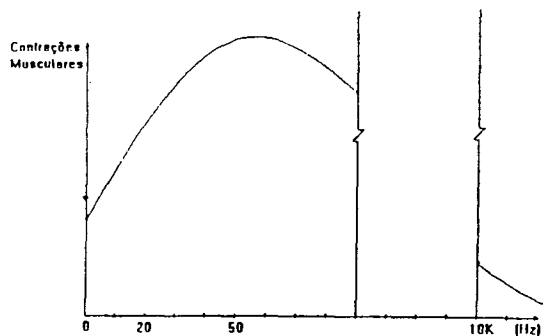


Figura 3.4.1.5 - Contrações musculares x frequência para corrente elétrica constante, *Apud* Kindermann [41].

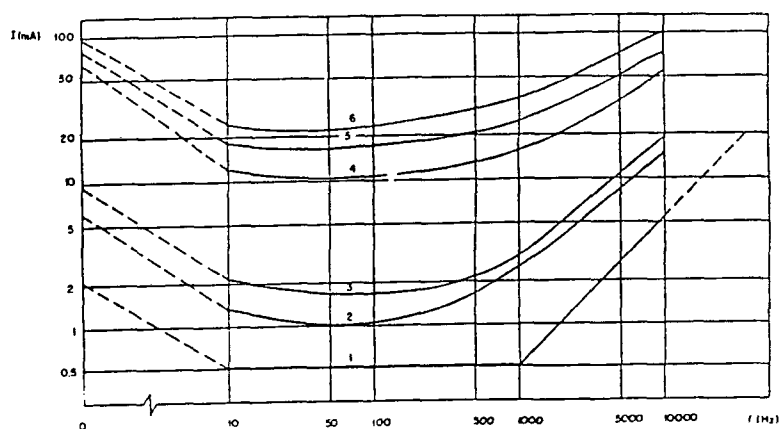


Figura 3.4.1.6 - Corrente elétrica x frequência para mesma contração muscular, *Apud* Kindermann [41].

Nestas duas curvas, é possível observar que os resultados mais críticos em termos de contrações musculares ocorrem justamente na faixa de frequência dos sistemas elétricos existentes, 50 e 60 Hz.

As curvas apresentadas são caracterizadas pelas seguintes reações:

- curva 1 - limite convencional das intensidades de corrente elétrica do choque que não resulta em nenhuma percepção;
- curva 2 - início da percepção para 50% das pessoas;
- curva 3 - início da percepção para 99,5% das pessoas;
- curva 4 - corrente de largar para 99,5% das pessoas;
- curva 5 - corrente de largar para 50% das pessoas;
- curva 6 - corrente de não-largar para 99,5% das pessoas.

Uma das consequências mais graves de um choque elétrico é a fibrilação ventricular do coração e parada cardíaca, principalmente pelo fato de que na maioria das vezes, é possível a reversão do estado do acidentado, tomando-se as medidas necessárias.

A fibrilação ventricular do coração é um fenômeno diferente da parada cardíaca, mas com consequências idênticas. A fibrilação ventricular caracteriza-se pela tremulação desordenada das fibras musculares das paredes do ventrículo devido a uma despolarização destas, não obedecendo mais aos impulsos elétricos emitidos pelo Nódulo Sino Atrial (NSA) e Nódulo Átrio-ventricular (NAV) que determinam o ritmo cardíaco. Quando ocorre a fibrilação, a pressão arterial cai a zero, indicando a parada circulatória sangüínea e a pessoa fica em um estado de morte aparente. O sinal de uma fibrilação ventricular observado em um eletrocardiograma (EEG) é caracterizado por um sinal desordenado com frequência variável na faixa de 170 a 300 por minuto [41].

Já a parada cardíaca é caracterizada pela parada total do coração, reduzindo a pressão arterial a zero, causando os mesmos danos que a fibrilação. A ocorrência de parada cardíaca é associada a valores elevados de corrente circulando pelo coração que provocam a tetanização das fibras musculares do coração e conseqüente parada cardíaca.

Em ambos os casos a reversão é possível. No caso da parada cardíaca e respiratória, massagens cardíacas ou desfibrilação associadas à respiração forçada podem ressuscitar a vítima, enquanto no caso de fibrilação ventricular, apenas a desfibrilação, utilizando um desfibrilador, pode retornar o coração ao funcionamento normal, devendo durante o período de fibrilação manter respiração forçada na vítima.

Logo, no setor elétrico existe a necessidade de obter-se uma expressão que defina com segurança amplitudes de corrente limite em função do tempo de choque que não venham causar fibrilação ventricular. Isto é importante na engenharia para poder projetar sistemas de proteção elétrica que garantam a segurança de pessoas com maior confiabilidade.

Dalziel [26] concluiu que 99,5% das pessoas com peso de 50 Kg ou mais, podem suportar sem ocorrência de fibrilação ventricular a corrente elétrica determinada pela expressão:

$$I_{\text{choque}} = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad \text{onde,} \quad 0,03 \text{ s} \leq t \leq 3 \text{ s} \quad (1)$$

O corpo humano é uma estrutura muito complexa e seu funcionamento não é totalmente conhecido, fazendo com que muitos dos danos causados por choque elétricos possam ainda ser desconhecidos, principalmente os associados a reflexos posteriores, sendo que pesquisas vêm sendo realizados a fim de conhecer melhor a relação entre eletricidade e organismo humano.

3.3.3 Origens do risco elétrico no ambiente hospitalar

Como já foi citado anteriormente neste trabalho, em um hospital existem vários níveis de exigência em termos de instalações elétricas e sua segurança. Isto nos

indica que qualquer tipo de risco de choque elétrico está presente no ambiente hospitalar, desde os riscos envolvidos na manipulação de equipamentos elétricos de uso doméstico, como ventiladores, luminárias, computadores, uso de equipamentos industriais, como nas lavanderias, cozinhas e oficinas, riscos envolvidos com a manutenção da rede elétrica, e o que nos interessa particularmente, riscos presentes na utilização de equipamentos eletromédicos. Neste item do trabalho, serão enfocados os aspectos relativos aos riscos presentes na utilização de equipamentos eletromédicos, tanto para pacientes como para operadores.

Na utilização de equipamentos eletromédicos, dependendo da aplicação, pode existir o risco de macro-choque para operadores e pacientes, e de micro-choque para pacientes.

No caso de macro-choques provocados por equipamentos eletromédicos, os principais riscos são associados principalmente as energias que podem ser liberadas pelos equipamentos em condição normal de funcionamento, ou condição de primeira falha. Existe pouca probabilidade de ocorrerem duas falhas simultaneamente, portanto, adota-se um sistema de proteção em que a primeira falha possa ser detectada antes de ocorrer uma segunda, *Apud* Monte [48].

As falhas elétricas em equipamentos eletromédicos podem ser causadas por diversos fatores, principalmente má concepção e conservação do equipamento, instalação elétrica inadequada ou até contato com fluidos, como sangue, urina, vômitos, remédios ou mesmo água, quando acidentalmente entrarem em contato com partes energizadas de equipamentos. Serão mencionadas algumas das situações mais frequentes de riscos de macro-choques associados a equipamentos eletromédicos.

Para equipamentos alimentados a dois condutores, ou seja, não existe o condutor de proteção, quando há uma perda de isolamento do cabo de alimentação para a carcaça, esta é submetida a tensão da rede. O toque na carcaça do equipamento por uma pessoa, dependendo das condições (resistência elétrica apresentada), estabelecerá um

caminho da terra para a corrente. Esta situação é semelhante ao caso da ruptura do condutor de proteção de equipamentos alimentados a três condutores ou falta de sistema de aterramento.

No caso de equipamentos alimentados por três condutores, caso haja um bom sistema de aterramento e o equipamento esteja conectado a ele corretamente, o problema da situação anterior está resolvido, pois no caso de um curto-circuito do condutor de alimentação com a carcaça, o sistema de aterramento proporcionará um caminho de baixa impedância para a corrente elétrica, evitando que a pessoa torne-se condutora desta corrente no caso de um toque na carcaça.

Existe outro caso de risco se houver a ruptura do condutor de proteção e ocorrer um curto-circuito com a carcaça de um equipamento ligado a um paciente, e mesmo que este esteja eletricamente isolado, poderá haver um caminho para a corrente através de outro equipamento conectado ao paciente e que esteja aterrado.

Poderá existir também o caso de tomadas polarizadas incorretamente. Neste caso, mesmo com o equipamento em perfeitas condições, pode haver o risco de macro-choque devido a uma possível ligação do condutor de alimentação a carcaça do equipamento.

Equipamentos não aterrados, como televisores, rádios, lâmpadas, etc..., que estão instalados próximos ao paciente, também podem ser origem de risco. Estes equipamentos, em geral, apresentam correntes de fuga bem superior aos equipamentos eletromédicos. No caso de um paciente estar conectado a algum equipamento, por exemplo, um monitor cardíaco devidamente instalado, e tocar em algum destes equipamentos com a presença de correntes de fuga, estas poderão fluir através do paciente pelos transdutores conectados a ele e provocar um choque elétrico no paciente.

Estes são alguns riscos associados a equipamentos eletromédicos, porém existem outros riscos elétricos relacionados a pacientes e operadores ou usuários mais relacionados a instalação elétrica. É o caso, por exemplo, da falta de sistema isolado em

centros cirúrgicos e salas de terapia intensiva, inexistência de um sistema de aterramento eficiente, riscos de explosões em locais que sejam utilizados gases anestésicos inflamáveis e onde as instalações não sejam adequadas, entre outros. A falta de fornecimento de energia a circuitos que estão alimentando equipamentos vitais à manutenção da vida também pode ser considerado um risco elétrico ao paciente.

No caso de micro-choques, que proporciona um risco muito grande ao paciente caso as precauções devidas não sejam consideradas, são devido a falhas em equipamentos utilizados em procedimentos terapêuticos invasivos. No caso de micro-choques, pequenas tensões podem produzir riscos sérios aos pacientes, pois são aplicadas diretamente a órgãos internos, não havendo resistência da pele e proporcionando elevadas correntes internas ao corpo humano. Serão apresentados alguns equipamentos e os riscos associados a cada um a fim de exemplificar situações passíveis de ocorrerem no dia a dia do hospital.

No caso de cateterismos, que se trata de um exame invasivo em que um cateter é levado através da veia ou artéria até dentro do coração, utilizado para analisar e verificar as condições internas do coração, uma falha no aparelho, devido à ruptura da isolamento e perda do aterramento, pode produzir uma descarga elétrica diretamente no coração. Neste caso, a fibrilação ventricular é praticamente inevitável. Em um equipamento de cateterismo, a simples perda de aterramento já produz riscos ao paciente, pois as próprias cargas estáticas geradas na carcaça do equipamento associadas às correntes de fuga pelas capacitâncias parasitas, já são suficientes para produzir danos no coração.

Em equipamentos de monitoração, como por exemplo um eletrocardiograma (ECG), que já produziu muito risco ao paciente; porém, com a tecnologia atual estes riscos diminuíram consideravelmente, principalmente devido ao fato de que os contatos da parte aplicada ao paciente com o circuito interno do aparelho são feitos através de acoplamentos indiretos da eletricidade mas, mesmo assim, podem

originar acidentes com eletricidade. Monte [48], apresenta uma possibilidade de acidente com um ECG para exemplificar os riscos associados.

Suponhamos um paciente com problemas cardíacos ao qual foi instalado um marcapasso externo temporário para manter o ritmo cardíaco e que está sendo monitorado por um ECG em uma cama motorizada. Se ocorrer uma perda do aterramento do circuito do motor elétrico da cama, as correntes de fuga energizarão levemente a estrutura metálica da cama. O paciente não receberá esta descarga diretamente, pois está isolado da cama pelo colchão. Caso a enfermeira, por exemplo, com uma mão toque a cama e a outra toque o marcapasso, pode haver uma descarga elétrica direta no coração, que mesmo sendo baixíssima intensidade e imperceptível para a enfermeira, pode ocasionar fibrilação ventricular no paciente. Esta corrente não escoou da cama diretamente para o paciente e daí para a terra, e sim através do corpo da enfermeira, pelo marcapasso e o coração do paciente, pelo eletrocardiógrafo e então para a terra, através do aterramento do eletrocardiógrafo. Este é um bom exemplo de acidentes que podem ocorrer em ambientes hospitalares, sem o conhecimento da verdadeira causa.

Outro equipamento de alto risco para pacientes e usuários, e pode ser considerado o grande vilão em termos de acidentes com eletricidade em hospitais são as unidades eletro-cirúrgicas de alta frequência (UEC), comumente conhecidas como bisturi elétrico [20].

Estes equipamentos são aplicados em cirurgias para procedimentos de corte e coagulação. São divididos em duas categorias, bipolar e unipolar. Ambos utilizam o mesmo princípio que é o de realizar o corte ou coagulação através da circulação de corrente de alta frequência nos tecidos, de 300 KHz a 3 Mhz [20], imposta por um eletrodo ativo, circulando deste para um passivo.

Os principais riscos envolvidos com o uso do bisturi elétrico, segundo Castro [20] e Kindermann [41] são: negligência, mal contato com a placa, movimentação súbita do paciente, defeitos internos do equipamento, proximidade de outros

equipamentos ou metais e falta de aterramento. O risco elétrico ocorre principalmente se, por algum motivo, a corrente elétrica alterar seu percurso. Este fenômeno geralmente está associado a um mal contato com a placa de retorno da corrente que pode provocar graves queimaduras na região de contato com pele desta placa, caso a resistência elétrica seja elevada, ou ainda, caso o paciente esteja sendo monitorado por outros equipamentos; no caso de falhas de contato com a placa de retorno, a corrente pode seguir o caminho de retorno através dos eletrodos conectados ao paciente, ocasionando muitas vezes queimaduras, leituras erradas de equipamentos de monitoração e em muitos casos, choques nos usuários. É importante também evitar aproximar o bisturi de elementos metálicos, pois devido às correntes de alta frequência, existe a possibilidade de indução nestes elementos, e que podem ocasionar acidentes.

Maiores informações a respeito de segurança elétrica em equipamentos, principalmente em salas cirúrgicas e UTIs pode ser encontrado nos trabalhos de Da Paz [25] e Castro [20].

Não se pretende aqui apresentar todos os equipamentos eletromédicos utilizados em um hospital e os riscos associados a cada um, pois devido a grande quantidade e diversidade, inviabilizaria a qualidade do trabalho. O que se quer, é apresentar situações e conceitos que possam esclarecer, e até alertar, da importância do tema para a utilização correta e segura de tecnologia hospitalar, em especial, equipamentos eletromédicos.

Outros problemas relacionados à utilização de equipamentos elétricos no ambiente hospitalar também devem ser considerados, e não estão relacionados diretamente a choque elétrico, como por exemplo, o problema de interferência elétrica em equipamentos de monitoração, tanto da rede de iluminação, como de outros equipamentos. Este e outros problemas serão abordados no capítulo 5 com maior profundidade.

3.4 EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS

Neste item serão apresentados definições importantes para o entendimento e visualização da estrutura prevista por normas para segurança de equipamentos eletromédicos, a fim de situar no contexto em que serão aplicadas as especificações previstas para instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde.

Segundo Monte [48], a vida útil do equipamento eletromédico é uma das principais especificações a serem observadas quando se trata de segurança nestes equipamentos. Esta duração é determinada pela qualidade dos projetos, da construção e dos componentes, pelas condições e frequência de uso e, principalmente, pela sua manutenção.

Do ponto de vista exclusivamente elétrico, em particular da segurança elétrica, a preocupação de projeto é evitar os riscos de choques elétricos ao paciente e às pessoas que estejam em contato com o mesmo. Existem regras fundamentais aplicadas a equipamentos elétricos, e uma delas é que para a redução de riscos elétricos, todas as partes sob tensão estejam protegidas contra contatos acidentais [48]. Em equipamentos normais, este requisito é atingido a partir de uma isolamento básica e comum a maioria dos equipamentos eletro-eletrônicos. Porém, em equipamentos eletromédicos, devido às particularidades de seu uso, exige-se um maior nível de proteção.

3.4.1 Classificação

No Brasil, a segurança elétrica de equipamentos eletromédicos é regulamentada pela norma NBR IEC 601-1 - Equipamento Eletromédico Parte I - Prescrições Gerais de Segurança [6].

Segundo esta norma, o equipamento deve ser classificado através de marcação e/ou identificação e esta classificação, do ponto de vista de segurança elétrica compreende os seguintes aspectos:

1) De acordo com o tipo de proteção contra choques elétricos:

a) Equipamento energizado por uma fonte de alimentação elétrica externa:

- Equipamento de classe I: é aquele no qual a proteção contra choque elétrico não se fundamenta apenas na isolação básica, mas incorpora ainda uma precaução de segurança adicional, consistindo em um recurso de conexão do equipamento ao condutor de aterramento, para proteção pertencente à fiação fixa da instalação, de modo a impossibilitar que partes metálicas acessíveis possam ficar sob tensão, na ocorrência de uma falha na isolação básica [6];

- Equipamento de classe II: é aquele no qual a proteção contra choque elétrico não se fundamenta apenas na isolação básica, mas incorpora ainda precauções de segurança adicionais, como isolação dupla ou isolação reforçada, não comportando recursos de aterramento para proteção, nem dependendo das condições de instalação [6].

b) Equipamento energizado internamente: incorpora uma fonte interna responsável pela alimentação do mesmo [6].

2) De acordo com o grau de proteção contra choques elétricos:

Antes de classificarmos o equipamento quanto ao grau de proteção, é importante conhecer a classificação quanto a parte aplicada de tipo F: a parte aplicada, separada eletricamente de todas as outras partes do equipamento, isto é, eletricamente

flutuante, a um grau tal ,que não seja ultrapassado o valor admissível da corrente de fuga através do paciente em condição anormal sob uma só falha, quando se aplica 1,1 vez o maior valor declarado da tensão de rede entre a parte aplicada e o terra [6].

Posta esta definição, classificam-se os equipamentos quanto ao grau de proteção como:

- Equipamento de tipo B: é aquele que proporciona um grau de proteção especial contra choque elétrico, particularmente quanto à: corrente de fuga admissível e confiabilidade da conexão de aterramento para proteção (se existente) [6]. Este tipo de equipamento pertence às classes I e II, e é adequado para aplicações intencionais interna e externa ao paciente, excluindo aplicações cardíacas diretas. Exemplo deste tipo de equipamento, são equipamentos geradores de radiações ultra-violeta ou infra-vermelha [48].

- Equipamento de tipo BF: é um equipamento tipo B com uma parte aplicada tipo F [6]. Este tipo de equipamento também pertence às classes I e II e temos, como exemplo, equipamentos com ou sem conexão intencional ao paciente, mesas de raio-X, cadeiras odontológicas, estimuladores, bisturis elétricos e eletrocardiógrafos para aplicação externa [48].

- Equipamento de tipo CF: é aquele que proporciona um grau de proteção superior ao do equipamento de tipo BF contra choque elétrico, particularmente no que se refere às correntes de fuga admissíveis, e que possui uma parte aplicada tipo F [6]. Este tipo de equipamento pertence as classes I e II e é destinado à aplicação cardíaca direta, e caracteriza-se por apresentar um elevadíssimo grau de proteção contra choque elétrico, reduzindo consideravelmente os valores das correntes de fuga. Exemplos de equipamentos tipo CF são os monitores para medir pressão sanguínea com transdutores intracardíacos, marcapassos e eletrocardiógrafos com aplicação interna [48].

3.4.2 Precauções (manutenção, segurança e utilização)

A utilização de equipamentos eletromédicos em hospitais exige certos cuidados, em função das características da atividade a que se destinam. Estes cuidados envolvem principalmente a utilização correta destes equipamentos e a manutenção adequada.

Tratando-se de utilização correta, na maioria das vezes os equipamentos são operados ou por médicos ou pelo corpo de enfermagem, ou seja, o corpo clínico. Na maioria dos casos, a formação destes profissionais não fornece um embasamento técnico a respeito de equipamentos e infra-estrutura para o funcionamento destes, propiciando condições para a utilização incorreta, tanto do ponto de vista de funcionalidade como de segurança.

Nos casos de utilização incorreta, os problemas gerados são desde acidentes com pacientes e usuários e erros de diagnóstico, como também a possibilidade de danificar o equipamento ou diminuir sua vida útil, aumentando o número de atendimentos de manutenção.

Do ponto de vista de manutenção de equipamentos eletromédicos, a situação é ainda mais grave. Atualmente são poucos os hospitais que possuem uma estrutura capacitada tecnicamente para proceder manutenções eficientes e de qualidade, e no caso de recorrerem a serviços de manutenção terceirizados, o problema está na qualidade dos serviços, fiscalização e verificação destas manutenções, que ficam praticamente à mercê destas empresas, não havendo na maioria dos casos, uma forma de controle sobre estes serviços. Tal se deve a uma série de fatores, como falta de conscientização de administradores hospitalares e do corpo clínico para o problema, falta de equipe técnica qualificada e falta de recursos.

Alguns trabalhos nesta linha desenvolvidos no GPEB, preocupam-se especificamente com esta situação. Beskow, no trabalho titulado “Estudo Preliminar do Processo de Qualificação de Equipamentos Eletromédicos: Uma Abordagem em Engenharia Clínica” [15], contextualiza com maior clareza este assunto, e como este trabalho faz parte de um projeto em equipe, procura sempre referenciar-se neste projeto o direcionamento da pesquisa, preparando a colocação do trabalho seguinte.

No caso específico da problemática relacionada à utilização de equipamentos, um programa de treinamento para os usuários na utilização de equipamentos eletromédicos e introdutório à infra-estrutura necessária é fundamental. Para este treinamento, deve ser avaliada a necessidade e situação do hospital para implementação deste programa. Os trabalhos de Castro [20] e Esperança [28] apresentam uma proposta de estrutura para treinamento em unidades eletro-cirúrgicas de alta-frequência (UEC) e ventiladores respectivamente, que pode ser considerada como uma boa referência para um programa de treinamento abrangendo outros equipamentos.

Dentro das propostas e do trabalho do grupo em que esta pesquisa se insere, a manutenção preventiva e corretiva de equipamentos eletromédicos e instalações elétricas deve sempre buscar garantir ou resgatar qualidades funcionais e de segurança. É importante conhecer bem os parâmetros a serem mantidos a fim de manter a qualidade e confiabilidade destes equipamentos e dos sistemas elétricos que os alimentam.

No caso de equipamentos de medição, devem ter suas características metrológicas bem definidas e respeitadas. Estes equipamentos, após a manutenção devem ser ensaiados a fim de garantir seu comportamento metrológico correto. O mesmo é válido para instalações elétricas. Prescrições de segurança devem obedecer as mesmas considerações.

Recomenda-se a realização de ensaios pré e pós manutenção e que sejam documentados, pois esta documentação servirá como um importante respaldo profissional

do técnico e também como fonte histórica para acompanhamento das características dos equipamentos e instalações.

4. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES

4.1 INTRODUÇÃO ÀS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES

Com o avanço da tecnologia em equipamentos para a área médica, necessita-se cada vez mais de uma infra-estrutura de instalações elétricas eficientes em estabelecimentos assistenciais de saúde, de modo que atenda às exigências de funcionalidade e segurança destes equipamentos.

Como este trabalho está voltado para instalações elétricas hospitalares, serão ressaltadas as características de instalações específicas para hospitais, sendo que podem ser estendidas a qualquer tipo de estabelecimento assistencial de saúde.

Uma instalação elétrica hospitalar é bastante complexa. Nestes estabelecimentos encontram-se praticamente todos os tipos de atividades e características do ponto de vista de um projeto de instalação. Existem características de instalações comerciais, industriais e principalmente médicas. Características de instalações comerciais podem ser encontradas em locais do setor administrativo, depósitos, restaurantes, recepção e bibliotecas. Características industriais são encontradas em setores de manutenção do hospital, casa de máquinas, central de ar condicionado, cozinha e áreas que exijam maquinário industrial. Características de instalações médicas são encontradas em todos os locais voltados para procedimentos relacionados diretamente a atividade clínica.

Logo, observa-se que para uma instalação elétrica hospitalar atingir os objetivos de funcionalidade e segurança para todos os níveis do hospital, é necessário a correta e precisa elaboração do projeto, execução e manutenção das instalações elétricas. Ressalta-se novamente as necessidades relativas ao planejamento e elaboração de projetos elétricos apresentadas no capítulo 3.

Na realização de um projeto destinado à instalação elétrica para estabelecimentos de saúde, deve-se procurar utilizar as técnicas mais avançadas e algumas orientações iniciais ao projeto devem ser tomadas, sendo elas a preferência pelo uso sempre que possível de distribuição a partir de centros de carga, previsão cuidadosa para que não haja interrupção no fornecimento de energia, um bom projeto de iluminação, utilização de equipamentos e dispositivos padronizados e avançados tecnologicamente, e obediência a todas as exigências previstas na normatização.

Para o planejamento de qualquer atividade relacionada a instalações hospitalares, seja de projeto, execução ou manutenção, algumas definições são fundamentais, tanto para o desenvolvimento das atividades como para o entendimento da estruturação do hospital frente à normatização existente na área.

Os locais de um hospital para fins médicos, do ponto de vista elétrico, são divididos ou classificados em três grupos e três classes. Esta classificação é importante para garantir que o dimensionamento das instalações para estes locais atendam por completo às necessidades elétricas de funcionalidade e segurança de equipamentos, e para evitar avaliações incorretas quanto a que atividades realmente serão desenvolvidas nestes ambientes.

São três os grupos previstos na norma [11] para enquadramento dos locais do hospital, e prevêem uma classificação referente aos tipos de equipamentos eletromédicos a serem utilizados, ou que poderão vir a ser utilizados nestes recintos:

- Local do GRUPO 0: Recinto em que não são utilizadas partes aplicadas de equipamentos eletromédicos alimentados pela rede.

- Local do GRUPO 1: Recinto no qual se prevê o uso de equipamentos eletromédicos, mas não para procedimentos intracardíacos.

- Local do GRUPO 2: Recinto no qual se prevê o uso de equipamento eletromédico destinado a procedimento intracardíaco.

A Tabela 4.1 apresenta a classificação por GRUPO dos principais locais em um hospital em que são realizados algum tipo de procedimento clínico.

LOCAL	0	1	2
01. Sala de massagem		X	
02. Lavabo cirúrgico	X		
03. Enfermaria		X	
04. Sala de parto		X	
05. Sala de EEG, ECG e EMG		X	
06. Sala de endoscopia		X	
07. Sala de exame ou tratamento		X	
08. Sala de trabalho de parto		X	
09. Centro de material esterilizado	X		
10. Sala de urologia (sem ser sala cirúrgica)		X	
11. Sala de diagnóstico ou terapia radiológicos		X	
12. Sala de hidroterapia		X	
13. Sala de fisioterapia		X	
14. Sala cirúrgica			X
15. Sala de preparação cirúrgica		X	
16. Sala de aplicação de gesso	X		
17. Sala de recuperação pós-cirurgia		X	
18. Sala de cateterismo cardíaco			X
19. Sala de terapia intensiva			X
20. Sala de angiografia			X
21. Sala de hemodiálise		X	
22. Sala de central de monitoração	X		
23. Sala de ressonância magnética (MRI)		X	
24. Medicina nuclear		X	
25. Sala de prematuros		X	
25. Sala de radiologia e ultra-som		X	

Tabela 4.1 - Classificação por GRUPO de locais para fins médicos em hospitais [11].

A classificação referente a classe, corresponde na verdade à classe da alimentação de segurança com que equipamentos eletromédicos do local em questão devem ser providos, segundo as prescrições da norma [11]. Consideram-se as seguintes

classes de alimentação de segurança de acordo com o tempo de comutação (tempo de passagem da alimentação normal para a alimentação de segurança):

- Classe 0,5: alimentação automática disponível em até 0,5 segundos.
- Classe 15: alimentação automática disponível em até 15 segundos.
- Classe >15: alimentação de segurança disponível em mais de 15 segundos, de modo automático ou manual.

A Tabela 4.2 apresenta a classificação por classes dos principais locais para fins médicos em um hospital.

LOCAL	0,5	15	>15
01. Sala de massagem		X	
02. Lavabo cirúrgico			X
03. Enfermaria		X	
04. Sala de parto		X	
05. Sala de EEG, ECG e EMG		X	
06. Sala de endoscopia		X	
07. Sala de exame ou tratamento		X	
08. Sala de trabalho de parto		X	
09. Centro de material esterilizado			X
10. Sala de urologia (sem ser sala cirúrgica)		X	
11. Sala de diagnóstico ou terapia radiológicos		X	
12. Sala de hidroterapia		X	
13. Sala de fisioterapia		X	
14. Sala cirúrgica	X	X	
15. Sala de preparação cirúrgica		X	
16. Sala de aplicação de gesso			X
17. Sala de recuperação pós-cirurgia		X	
18. Sala de cateterismo cardíaco		X	
19. Sala de terapia intensiva	X	X	
20. Sala de angiografia		X	
21. Sala de hemodiálise		X	
22. Sala de central de monitoração		X	
23. Sala de ressonância magnética (MRI)		X	
24. Medicina nuclear		X	
25. Sala de prematuros		X	
26. Sala de radiologia e ultra-som		X	

Tabela 4.2 - Classificação por classe de locais para fins médicos em hospitais [11].

Salas de cirurgia e tratamento intensivo possuem duas classificações, 0,5 e 15, pois podem possuir equipamentos e luminárias que necessitem alimentação automática em no máximo 0,5 segundos, devendo ser previstos pontos de fornecimento que atendam ambas as classificações.

Todos os locais de um hospital que não são destinados a nenhum tipo de procedimento clínico ou fins médicos poderiam ser enquadrados como locais do GRUPO 0. Na verdade estes locais devem ser tratados como locais que necessitem instalações elétricas padrão, ou seja, não é exigido nenhuma consideração especial ou diferente das utilizadas para instalações comerciais ou industriais, devendo aplicar-se as normas de instalações elétricas adequadas a cada local.

No decorrer deste trabalho, são abordados aspectos das instalações elétricas relativas aos locais de um hospital destinados para fins médicos ou procedimentos clínicos, isto porque o trabalho é voltado às instalações elétricas destinadas a garantir a funcionalidade e segurança de equipamentos eletromédicos.

Serão abordados ao longo deste capítulo os principais aspectos relacionados às instalações elétricas hospitalares nas seguintes áreas, que caracterizam os principais aplicações de equipamentos eletromédicos em um hospital, nos quais os locais relacionados nas tabelas 4.1 e 4.2 podem ser enquadrados: centros cirúrgicos e salas de cateterismo, salas de métodos invasivos não-cirúrgicos, salas de métodos não-invasivos, unidades de terapia intensiva e laboratórios.

Aspectos relacionados a aterramento, que é uma das principais fontes de problemas em uma instalação elétrica hospitalar, aplicação de sistemas isolados, sistemas de alimentação de emergência e interferência eletromagnética em equipamentos eletromédicos serão também abordados com maior profundidade, por tratarem-se de características fundamentais ao correto funcionamento de uma instalação elétrica hospitalar.

4.2 NORMATIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES

De acordo com o que foi descrito no capítulo 3 deste trabalho, existe uma série de normas publicadas regulamentando instalações para as mais variadas aplicações. Para instalações elétricas hospitalares, a ABNT, através do Comitê Brasileiro de Eletricidade (COBEI) e sua Comissão de Estudos de Instalações Elétricas em Estabelecimentos Médico-Hospitalares, publicou a Norma NBR-13534 - Instalações Elétricas para Estabelecimentos Assistências de Saúde [11], que fixa as condições de segurança exigíveis às instalações elétricas de recintos para fins médicos e áreas associadas.

Esta norma deve ser aplicada tanto para novas instalações como para reformas em instalações existentes. As suas prescrições complementam, modificam ou substituem prescrições de caráter geral contidas na NBR-5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Procedimento [9], ou seja, para tudo o que não for especificado na NBR-13534, aplicam-se as prescrições da NBR-5410.

Para qualquer atividade relacionada às instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde, além da NBR-13534, devem ser utilizadas normas complementares, sendo necessário a consulta, pelo menos, às seguintes normas:

- NBR-5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Procedimento;
- NBR-5473 - Instalação Elétrica Predial - Terminologia;
- NBR-7256 - Tratamento de Ar em Unidades Médico-Assistencial - Procedimento;
- NBR-10898 - Sistema de Iluminação de Emergência - Procedimento;
- NBR IEC 601 - 1 - Equipamentos Eletromédicos - Parte 1 - Prescrições Gerais para Segurança.

Estas são as normas mínimas para que um projeto de instalações elétricas em estabelecimentos assistências de saúde possa ser bem realizado, devendo o projetista sempre que achar necessário um maior aprofundamento em determinadas questões que possam surgir no decorrer do projeto, consultar outras normas associadas.

Nos próximos itens deste capítulo, todas as análises e colocações são baseadas nas normas referidas.

4.3 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM LOCAIS PARA FINS MÉDICOS

Um sistema de distribuição de energia tem como objetivos fornecer ou gerar energia em quantidades suficientes para os locais onde haja necessidade, transmitir esta energia com eficiência e distribuir aos consumidores finais esta energia com qualidade e confiabilidade.

A fim de mostrar as necessidades de instalações elétricas para estabelecimentos assistenciais de saúde, são abordados as prescrições previstas em norma aplicáveis para cada um das áreas citadas no item 4.1, porém, faz-se necessário algumas introduções gerais para distribuição de energia em estabelecimentos assistências de saúde contidas em norma. Não se pretende abordar aspectos relacionados a conceitos gerais de instalações elétricas, como por exemplo, dimensionamento de subestações de distribuição, entradas de energia, comando de motores, etc, por não estarem relacionados diretamente com os objetivos do trabalho.

Em uma instalação elétrica para estabelecimentos assistenciais de saúde, são permitidos os seguintes esquemas de ligação: sistema TT, sistema IT e sistema TN-S. O sistema de ligação TN-C e suas derivações não são permitidos porque não oferecem segurança necessária à utilização de equipamentos eletromédicos.

Cada uma das letras na classificação destes sistemas possui um significado, apresentado por Kindermann [43]:

Primeira letra:

T : a alimentação (lado fonte) tem um ponto diretamente aterrado;

I : isolação de todas as partes vivas da fonte de alimentação em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância elevada.

Segunda letra:

T : massas aterradas com terra próprio, independente da fonte;

N: massas ligadas ao ponto aterrado da fonte;

I : massa isolada, não aterrada.

Outras letras: especificam a forma de ligação do aterramento da massa do equipamento, usando o sistema de aterramento da fonte.

S : separado, isto é, o aterramento da massa é feito com um fio de proteção distinto do neutro;

C : comum, isto é, o aterramento da massa do equipamento é feito usando o fio neutro.

Os sistemas descritos anteriormente são caracterizados da seguinte maneira:

Sistema TN-S: sistema onde a fonte de alimentação possui um ponto diretamente aterrado e as massas dos equipamentos são ligadas a este ponto através de um

condutor de proteção distinto do neutro. Neste sistema a corrente de falta direta entre fase e massa é considerada uma corrente de curto-circuito.

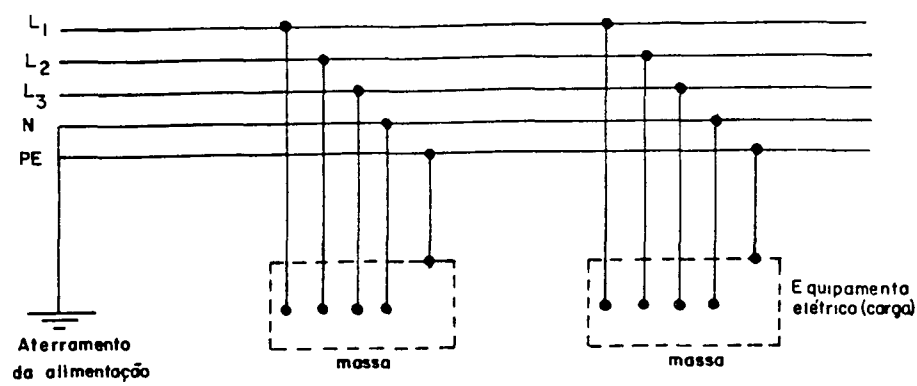


Figura 4.3.1 - Sistema TN-S [43]

Sistema TN-C: sistema onde a fonte de alimentação possui um ponto diretamente aterrado, as massas dos equipamentos são ligadas ao ponto aterrado da fonte utilizando o fio neutro. Figura 4.3.2.

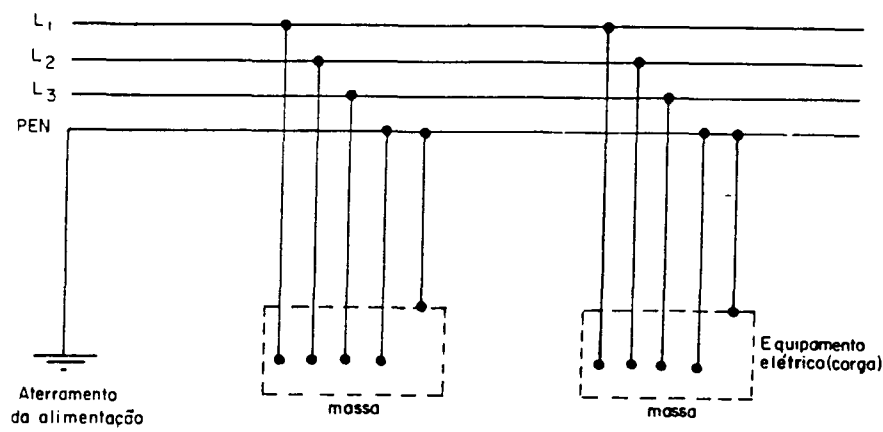


Figura 4.3.2 - Sistema TN-C [43]

É importante salientar que a confiabilidade de sistemas TN quanto a proteção contra contatos indiretos utilizando dispositivos acionados por sobrecorrente está condicionada à integridade do condutor neutro [51]. Figura 4.3.1.

Sistema TT: sistema onde a fonte de alimentação é aterrada e as massas dos equipamentos possuem um terra separado e próprio.

Neste sistema as correntes de falta direta fase-massa são inferiores a uma corrente de curto-circuito, podendo no entanto ser suficiente para originar o surgimento de tensões perigosas [51]. Figura 4.3.3.

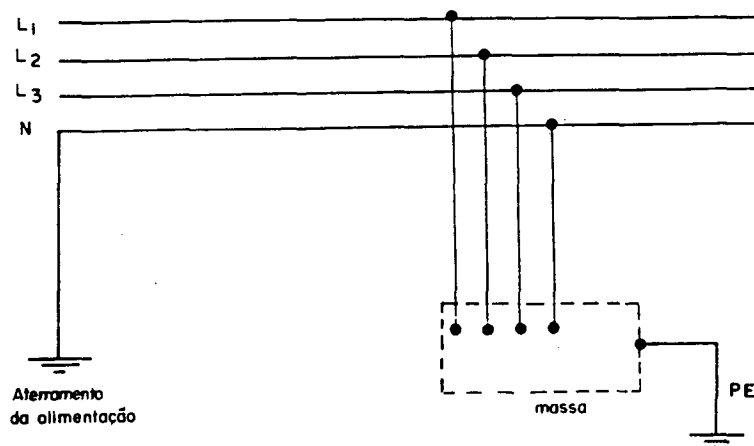


Figura 4.3.3 - Sistema TT [43]

Sistema IT: sistema onde a fonte de alimentação não está aterrada ou aterrada por uma impedância considerável e as massas dos equipamentos tem terra próprio.

Neste sistema a corrente de uma única falta fase-massa não tem intensidade suficiente para provocar o surgimento de tensões perigosas, caso os valores de isolamento previstos em norma estejam mantidos. Figura 4.3.4.

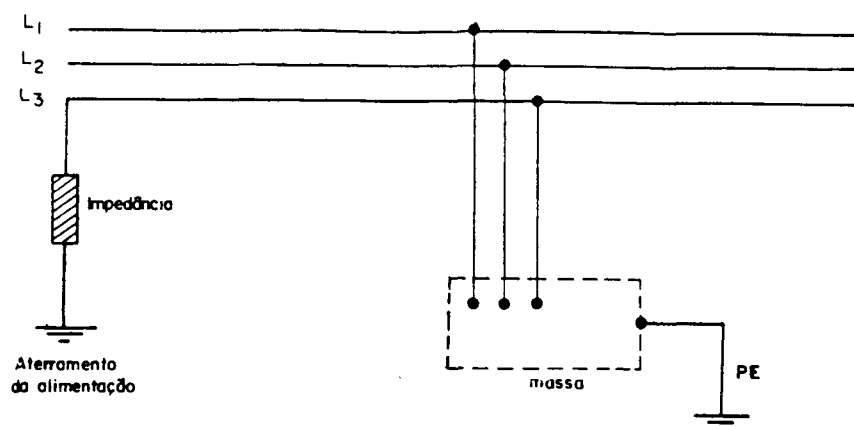


Figura 4.3.4 - Sistema IT [43]

É importante conhecer estas formas de distribuição de energia elétrica em baixa tensão, a fim de poder avaliar a melhor opção para atender às características de segurança e proteção de cada recinto para fins médicos em um estabelecimento de saúde.

O sistema IT, conhecido também como IT médico, segundo as prescrições da NBR-13534 [11] deve ser aplicado a locais do GRUPO 2, pois este sistema caracteriza-se principalmente por garantir que, em caso de contatos com partes vivas da rede, dificulte o fechamento de um circuito de retorno para a corrente com a terra, oferecendo maior segurança a usuários e pacientes contra choques elétricos.

No que diz respeito à proteção e segurança de usuários e pacientes, deve ser considerada a proteção contra choque elétricos, que engloba aspectos de proteção contra contatos diretos e indiretos e proteção por extra-baixa tensão. A proteção contra contatos indiretos é feita geralmente utilizando a técnica de seccionamento automático da alimentação, através de dispositivos de proteção adequados a cada recinto do hospital [11]. Cada local possui prescrições específicas referentes ao tipo e características destes dispositivos, afim de proporcionar a maior segurança possível, que serão vistas no decorrer deste capítulo.

Atualmente, utiliza-se como principal dispositivo de seccionamento automático em circuitos de distribuição de energia em baixa tensão, os disjuntores termomagnéticos e dispositivos a corrente diferencial-residual, conhecidos como disjuntores DR.

A proteção dos circuitos contra contatos diretos deve ser feita através de isolamento das partes vivas e/ou proteção por meio de barreiras ou invólucros, seguindo prescrições da NBR 5410 [9].

Para circuitos que utilizem proteção por extra-baixa tensão, como por exemplo, luminárias cirúrgicas, a norma NBR-13534 [11] prevê a utilização de proteção por extra-baixa-tensão SELV, PELV ou FELV. SELV é um termo utilizado internacionalmente para designar o que se denomina de "extra-baixa tensão de segurança". PELV corresponde a uma SELV, em que o circuito secundário (circuito separado) é aterrado, e também é conhecida como "extra-baixa tensão funcional". O termo FELV é utilizado para designar os demais casos de "extra-baixa tensão funcional". Geralmente as tensões utilizadas nestes sistemas são de 25 Volts AC, valor eficaz, ou 60 Volts CC sem ondulação [11]. Estas tensões são obtidas através do uso de transformadores isoladores, sendo proibido o uso de autotransformadores. É importante salientar que este sistema está praticamente em desuso, pois os equipamentos eletromédicos que necessitam deste tipo de alimentação já possuem os dispositivos para adequação da tensão aos níveis exigidos.

Uma tensão sem ondulação é definida como uma tensão cuja taxa de ondulação não supera 10% do valor eficaz, o valor de crista máximo não deve exceder 140 Volts para um sistema CC sem ondulação com no máximo 120 Volts nominais, ou 70 Volts para um sistema CC sem ondulação com 60 Volts nominais[11].

Quando for utilizada SELV ou PELV, a norma prevê que é preciso utilizar também proteção das partes vivas e proteção por meio de barreiras ou invólucros, de acordo com a NBR-5410 [9], mesmo nos casos de tensão inferior a 25 Volts AC ou 60 Volts CC sem ondulação.

Para a proteção contra sobrecorrentes, a norma NBR-13534 [11] recomenda a utilização em todos os casos de disjuntores, seccionando todos os pólos simultaneamente. Estes disjuntores devem ser dimensionados de acordo com o fator de demanda considerado para o circuito e ajustados para garantir a seletividade, em casos de curto-circuito com os dispositivos situados a montante.

Outro fator importante a ser considerado em um projeto de distribuição de energia em um hospital é o dimensionamento dos alimentadores de cada recinto. Deve-se considerar para locais em que ocorram ou possam vir a ocorrer procedimentos clínicos que utilizem equipamentos eletromédicos, um fator de demanda de 100% para os circuitos destinados à alimentação destes equipamentos, garantindo a utilização de todos os recursos possíveis caso haja necessidade.

Para dimensionamento da capacidade de alimentação total de um hospital, atualmente recomenda-se que seja prevista uma demanda de 3 KVA por leito, em hospitais modernos. Com o aumento do número de leitos, a demanda por leito pode ser reduzida. Segundo Monte [48], em um hospital com até 100 leitos admite-se a demanda de 3 KVA por leito, enquanto para hospitais com mais de 700 leitos, 1 KVA de demanda por leito é satisfatório. No Brasil a Portaria 138/BSB de 1978, publicada pelo Ministério da Saúde, recomenda que a demanda máxima seja de, pelo menos, 1 KW por leito, excluídos os sistemas de processamento eletrônico de dados e condicionadores de ar [48].

Um aspecto importante na realização do projeto relacionado à distribuição das cargas e demanda total do hospital, é o correto balanceamento das fases. De acordo com a normatização existente no Brasil, dificilmente existirão hospitais em que o sistema de fornecimento de energia pela concessionária não seja trifásico. Isto torna necessário uma boa previsão de demanda e utilização das cargas em um hospital, afim de evitar grandes desbalanceamentos de carga, evitando muitos problemas oriundos desta condição de funcionamento, como por exemplo, correntes excessivas no neutro e sobrecarga de transformadores.

A previsão da utilização das cargas em um hospital é uma tarefa bastante complexa, pois deve-se procurar conhecer com bastante exatidão qual será a rotina de funcionamento do hospital, que tipos de exames serão realizados, a frequência de utilização de determinados locais do hospital e outros fatores intrínsecos à realidade de cada hospital. Existe um problema na maioria dos hospitais que é, justamente, estas previsões, em função da própria característica da atividade a que se destinam, não sendo possível, na maioria das vezes, prever-se com exatidão os horários de funcionamento de determinados setores, como por exemplo, centros cirúrgicos e salas para exames radiológicos.

Para amenizar este problema deve-se procurar prever os locais que caracterizem-se pela dinâmica de funcionamento elétrico em fases distintas, evitando sobrecarga em alguma delas.

Em qualquer tipo de instalação, o aterramento é um dos itens fundamentais para o correto funcionamento da instalação elétrica, tanto a nível de segurança quanto para a funcionalidade de equipamentos elétricos. Em hospitais, o aterramento é com certeza o principal fator responsável pela segurança da instalação e para oferecer condições ideais de funcionamento a equipamentos eletromédicos.

Por exemplo, o aterramento é um item fundamental da instalação elétrica para evitar a interferência elétrica nos diversos equipamentos de monitoração de sinais elétricos biológicos, como o eletrocardiograma e eletroencefalograma. É o responsável também pela sensibilidade dos sistemas de proteção por seccionamento automático e um bom aterramento minimiza os efeitos de choques elétricos [51]. No decorrer deste capítulo, o aterramento será abordado com maior profundidade dada a sua importância.

O conceito de equipotencialidade também é importante no escopo de instalações elétricas hospitalares, devido a sua necessidade de utilização em alguns locais do hospital.

Equipotencialização, segundo Santana [51], é a interligação através de condutores adequados e bem dimensionados de objetos e partes metálicas, fazendo com que estes fiquem a um mesmo potencial. O objetivo da equipotencialização é evitar o surgimento de diferenças de potenciais entre duas partes metálicas, geralmente não pertencentes a instalação elétrica.

Santana [51] diferencia a ligação equipotencial em principal e suplementar. A ligação equipotencial principal é definida como sendo a ligação de canalizações metálicas não utilizadas pelo sistema elétrico (água, gases, ar condicionado, etc.) e outros elementos metálicos da construção, enquanto a ligação suplementar é definida como a ligação das massas ou elementos condutores estranhos a ligação.

De acordo com a norma NBR-13534 [11], deve ser previsto ligação equipotencial em locais do GRUPO 1 e GRUPO 2, com vistas a equalizar diferenças de potencial entre os seguintes elementos: barra PE (barra dos condutores de proteção), elementos condutores estranhos à instalação, blindagens contra interferências, malha metálica de pisos semi-condutivos, massas de equipamentos SELV, barra de ligação equipotencial, mesas cirúrgicas fixas não elétricas. Poderão estar excluídos os elementos que se situem ou sejam acessíveis acima de 2,5 m do piso.

A barra de equipotencialidade deve estar localizada no quadro de distribuição de cada local, permitindo a conexão dos condutores de equipotencialidade através de conexões visíveis e permitir a desconexão individual de cada uma destas ligações.

É importante observar que o condutor de equipotencialidade também é considerado um condutor de proteção e costuma-se empregar um ou outro termo, dependendo do tipo de elemento que é ligado ao sistema de aterramento geral da instalação. Desta maneira, condutor de proteção é considerado o condutor ligado à barra de aterramento do quadro de distribuição, que é conectado ao terminal PE das tomadas de corrente da instalação, ou terminal de aterramento de equipamentos. Tem a função de

aterrar as massas dos equipamentos. O condutor de equipotencialidade é o que liga os elementos condutores estranhos à instalação à barra de ligação equipotencial do quadro de distribuição. Ao nível de cada quadro, deve haver duas barras, a barra PE de aterramento e a barra de equipotencialização, sendo que ambas devem ser interligadas.

Prescrições importantes da norma para estabelecimentos assistenciais de saúde diz respeito à instalação elétrica em locais com risco de explosão. A norma prevê que o uso de técnicas de proteções especiais para atmosferas explosivas com risco de ignição, não é necessário quando houver ventilação adequada com distribuição uniforme dos pontos de exaustão, e forem utilizadas na sala quantidades limitadas de anestésicos. Em hospitais, o local típico que necessita este tipo de instalação são os centros cirúrgicos, que serão abordados mais detalhadamente no decorrer deste capítulo.

Após estas colocações, a seguir são apresentadas características específicas aos locais em que se utilizam equipamentos eletromédicos nos estabelecimentos assistenciais de saúde, particularmente em hospitais. Serão abordados tópicos de interesse de cada local, detalhando prescrições previstas em norma, quando for necessário.

4.3.1 Instalações elétricas em centros cirúrgicos

Os centros cirúrgicos em hospitais são um dos locais onde mais utiliza-se equipamentos eletromédicos aplicados à pacientes. Pela natureza das atividades desenvolvidas nestes centros, a maioria destes equipamentos estão ligados diretamente a manutenção da vida de pacientes. É também neste ambiente em que são utilizados os bisturis elétricos, atualmente os maiores causadores de acidentes elétricos com pacientes e usuários em hospitais [20]. Associado a estas colocações deve-se acrescentar o fato de que as atividades médicas desenvolvidas em centros cirúrgicos são extremamente críticas e na maioria das vezes emergenciais, onde qualquer contratempo para o corpo clínico pode resultar em sérias consequências para pacientes.

A funcionalidade e segurança de equipamentos eletromédicos tem como base para que não hajam problemas durante uma cirurgia o bom nível das instalações elétricas dos centros cirúrgicos e sua correta utilização, sendo fundamental para atingir estes objetivos a obediência à normatização existente, pois estas contêm as prescrições necessárias a garantir os níveis de segurança e confiabilidade às instalações.

Os centros cirúrgicos são compostos por vários locais com diferentes funções e na maioria dos hospitais, divididos em salas de cirurgia, sala de preparação cirúrgica, sala de recuperação pós-cirurgia, lavabo cirúrgico e área de circulação. Podem existir variações dependendo da seletividade e do tipo de cirurgias realizadas, como por exemplo em maternidades existem salas de partos e de neonatos nos centros cirúrgicos. Cada local componente do centro cirúrgico deve ser enquadrado em um dos GRUPOS e classes previstos pela norma NBR-13534 [11].

As salas de cirurgia são os únicos locais do centro cirúrgico que enquadram-se no GRUPO 2 e classes 0,5 e 15. O enquadramento no GRUPO 2 é porque em salas de cirurgia podem ser realizados procedimentos cardíacos invasivos, além de toda a gama de cirurgias aos quais está dimensionado, tratando-se necessariamente de procedimentos invasivos. O enquadramento simultâneo nas classes 0,5 e 15 é devido ao fato de que alguns equipamentos e sistema de iluminação necessitam continuidade praticamente ininterrupta no fornecimento de energia, sob pena de causar riscos a vida do paciente. É o caso de alguns equipamentos de monitoração, ventiladores, máquinas de circulação extra-corpórea e foco cirúrgico. Sala de preparação cirúrgica, sala de recuperação pós-cirurgia, sala de parto e de neonatos são enquadrados como locais do GRUPO 1 e classe 15, pois não possuem equipamentos que necessitem continuidade ininterrupta de energia. Lavabo cirúrgico e área de circulação são enquadrados como GRUPO 0 e classe >15.

Esta diferenciação deve ser feita afim de que as instalações elétricas sejam dimensionadas e especificadas de acordo com as necessidades de cada área,

proporcionando além de confiabilidade e segurança ao sistema, uma redução nos custos de instalação e manutenção.

A instalação mais crítica em centros cirúrgicos são as das salas de cirurgia. Estas salas necessitam de instalações que garantam confiabilidade, segurança e continuidade no fornecimento de energia.. Entenda-se por confiabilidade, aquela instalação que forneça energia e recursos para que equipamentos possam ser utilizados explorando todos seus recursos de funcionalidade, além de oferecer flexibilidade na utilização de equipamentos. A instalação deve ser projetada a fim de minimizar a interferência eletromagnética entre equipamentos, sejam estes de aplicação em procedimentos cirúrgicos ou de monitoração. Segurança de instalações elétricas de salas de cirurgia entende-se como sendo a capacidade de se utilizar as instalações sempre de forma adequada, e esta deve garantir o máximo de segurança possível a usuários e pacientes, independente das exigências impostas por usuários dos equipamentos e, associado à segurança, está a necessidade de não haver interrupção no fornecimento de energia elétrica a estas salas.

Algumas características das instalações para salas de cirurgia são de extrema importância. O aterramento deve ser suficientemente eficiente a fim de garantir um bom nível de segurança contra descargas acidentais em carcaças de equipamentos, promover uma boa sensibilidade aos sistemas de proteção, diminuir os efeitos e contribuir para a redução na interferência entre equipamentos, garantir um bom nível de equipotencialidade às partes metálicas não pertencentes à instalação elétrica entre outros benefícios. O tipo de sistema de ligação dos circuitos destas salas também é um fator importante para a confiabilidade e segurança de usuários e pacientes. O sistema de ligação deve evitar que contatos acidentais com partes vivas da instalação e equipamentos provoquem descargas elétricas em usuários e pacientes. A continuidade no fornecimento de energia também deve ser garantido para estas salas, e não apenas à equipamentos, mas

também ao sistema de iluminação, evitando que médicos percam o campo de visão sobre o paciente, que em alguns casos é vital para evitar acidentes.

Outras características de salas cirúrgica devem ser levadas em consideração para a realização de um projeto elétrico. Locais onde são administrados e manipulados agentes anestésicos e anti-sépticos podem apresentar risco de explosão. Caso alguns destes agentes sejam inflamáveis, uma faísca provocada pelo sistema elétrico pode ser o elemento ignitor para a explosão destes gases.

Para entender-se corretamente este risco, é interessante colocar que em salas de cirurgia os três elementos para que ocorra uma explosão estão presentes, o agente inflamável, o comburente (que fornece oxigênio para a reação de oxidação) e a energia necessária a desencadear o processo. O agente inflamável pode ser como exemplo algum gás anestésico utilizado no paciente, o agente comburente o oxigênio, presente em grande quantidade em salas de cirurgia, pois na maioria das cirurgias é ministrado de forma pura ao paciente e o risco de faiscamento na sistema elétrico. Outras fontes de faiscamento estão presentes, como aquele provocado por bisturis elétricos.

Alguns fatores minimizam os risco, que são o fato de que estes gases anestésicos possuem densidade maior que a do ar, depositando-se a até 30 cm do piso e os agentes anestésicos são geralmente utilizados em doses pequenas, de modo que a concentração na sala é baixíssima e os equipamentos de anestesia possuem sistemas anti-poluição que evitam ao máximo o vazamento destes gases para a atmosfera [51], e atualmente procura-se utilizar gases anestésicos não-inflamáveis. Geralmente o sistema de exaustão das salas consegue ser eficiente para evitar a concentração de gases. Apesar disto, a norma prevê precauções para evitar riscos de explosões.

As necessidades elétricas de locais do GRUPO 1 em centros cirúrgicos são as mesma que para as salas de cirurgia, exceto às necessidades referentes ao tempo mínimo de interrupção no fornecimento, que pode ser de até 15 segundos e o risco de explosão praticamente inexistente.

Os locais do GRUPO 0 de centros cirúrgicos não exigem cuidados especiais além dos previstos para instalações elétricas convencionais, levando sempre em consideração o objetivo de cada local. Em função disto, fica claro a complexidade das instalações elétricas de centros cirúrgicos e a necessidade de especificações que garantam segurança e confiabilidade destes instalações.

Serão apresentadas as principais considerações aplicáveis a centros cirúrgicos e que procuram garantir as características de funcionalidade e segurança às instalações elétricas destes centros.

4.3.1.1 Locais do GRUPO 2: salas de cirurgia

Em qualquer projeto elétrico, a NBR-5410 [9] prescreve que se deve considerar no projeto diferenciação para circuitos de iluminação e força. Em locais do GRUPO 2 isto deve ser considerado sempre, devido às diferentes necessidades de cada circuito, previstas pela NBR-13534 [11].

Os sistemas de ligação recomendados são o TN-S ou TT para circuitos de iluminação e força em que não sejam ligados equipamentos eletromédicos, por exemplo, circuitos destinados a condicionadores de ar e IT-médico para circuitos de força em que serão ligados equipamentos eletromédicos. Cada sala do centro cirúrgico deve possuir seu próprio quadro de força com seu transformador isolador para o sistema IT-médico.

Com respeito a proteção contra contatos indiretos, recomenda-se a utilização de proteção por extra-baixa tensão, com tensão nominal máxima de 25 Volts em AC, valor eficaz ou 60 Volts em CC sem ondulação, para equipamentos que utilizem estes valores de tensão.

A proteção contra contatos indiretos deve ser feita por seccionamento automático da alimentação, pelo emprego de componentes com isolação prevista nos itens 5.1.3.1, 5.1.3.2 e 5.1.3.5 da NBR-5410 [9] e atendendo as seguintes restrições:

Para circuitos ligados na forma do esquema TN-S e TT, a proteção por seccionamento automático da alimentação deve ser confiada a dispositivos a corrente diferencial-residual (DR), limitada a circuitos para unidades de raios X e circuitos para equipamentos com potência nominal de saída superior a 5 KVA. O dispositivo DR deve ter sua corrente diferencial-residual de atuação (I_d) como segue:

- $I_d \leq 0,03$ A para todo circuito cujo dispositivo de proteção contra sobrecorrentes tenha corrente nominal de até 63 A.
- $I_d \geq 0,03$ A para todo circuito cujo dispositivo de proteção contra sobrecorrentes tenha corrente nominal superior a 63 A.

Para circuitos ligados no esquema IT-médico, as prescrições para os esquemas TN-S e TT são válidas, acrescentando a necessidade de que este sistema deve ser equipado com um dispositivo supervisor de isolamento que atenda aos requisitos previstos na NBR-13534 [11]. Deve-se ressaltar que estas prescrições são válidas para circuitos que alimentam equipamentos elétricos situados a até 2,5 metros do piso.

As tomadas de força em salas de cirurgia devem estar localizadas a, no mínimo, 1,50 m de altura e, em casos em que for impraticável esta recomendação, as tomadas devem ser blindadas e lacrada ao ambiente externo, na medida do possível. O uso de extensões é terminantemente proibido. Estas recomendações são para reduzir os riscos de explosão.

As tomadas servidas pelo sistema IT-médico devem ser repartidas em, no mínimo, dois circuitos independentes, e quando existirem tomadas servidas pelos outros sistemas, as tomadas do sistema IT devem ser não inter-cambiáveis com plugues previstos para conexão aos circuitos TN-S e TT, e devem ser marcadas indicando que ali devem ser ligados os equipamentos eletromédicos.

Além das prescrições da NBR 5410 para instalação de tomadas, Santana [51] recomenda o seguinte:

a) Todas as tomadas devem ser padronizadas para cada tipo de tensão a que sejam destinadas, pois deve-se prever tomadas em 127 e 220 Volts;

b) Independente do padrão adotado, as tomadas da sala de cirurgia devem ter 3 pinos, sendo o terceiro pino destinado ao condutor PE de aterramento.

c) Devem haver tomadas indicadas e dimensionadas em circuitos exclusivos para aparelhos de raios X.

d) Os circuitos e tomadas devem ser agrupadas de maneira a amenizar as interferências nos equipamentos de monitoração. Os circuitos e tomadas para equipamentos gerados de interferência, como eletrocautérios, máquinas de circulação extra-corpórea e serras devem ser separados e alimentados por fases distintas das destinadas a equipamentos de monitoração.

e) Devem ser previstos, no mínimo, 14 tomadas distribuídas em todas as paredes da sala, concentrando-se estas em áreas onde não haja demasiada circulação de pessoas e que facilitem a ligação de equipamentos. Os circuitos devem ser dimensionados de forma a existir um para cada 3 tomadas, sendo dimensionadas para potências de até 400 VA ,exceto tomadas para raios X, que devem possuir um circuito único.

f) Todas as tomadas destinadas a equipamentos eletromédicos devem ser ligadas ao sistema de emergência.

A ligação dos condutores fase, neutro e terra ou linha 1, linha 2 e terra em sistemas IT das tomadas de acordo com a NBR-5410 [9] pode ser vista na figura 4.3.5

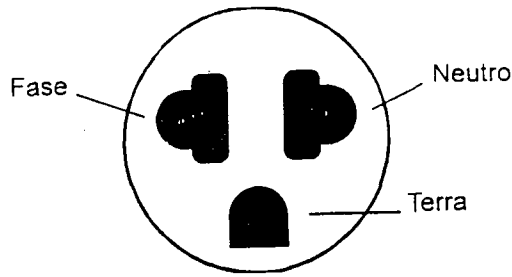


Figura 4.3.5 -Forma de ligação dos condutores fase, neutro e terra nas tomadas tripolares
[51]

A iluminação de salas cirúrgicas deve seguir prescrições da NBR 5413 - Iluminância de Interiores [8], que determina os níveis de iluminamento nestes ambientes. A iluminação geral da sala deve fornecer um nível de iluminamento mínimo de 1000 lux. É aconselhável o sistema de iluminação do centro cirúrgico não oferecer dificuldades de adaptação de um local para outro, logo as área adjacentes à salas de cirurgia e que se tenha acesso a estas devem possuir um nível de iluminamento de, no mínimo, 50% em relação ao nível das salas de cirurgia, no caso 500 lux.

Recomenda-se a utilização de iluminação fluorescente, com características que reproduzam com fidelidade todas as cores e possuam boa harmonização com a luz do dia. Devem ser utilizadas luminárias embutidas, com proteção em acrílico, facilitando a limpeza e evitando o acúmulo de sujeira, em função da necessidade de alto nível de assepsia nestas salas.

Sobre mesa cirúrgica a norma prevê que o nível de iluminamento deve ser de 10.000 a 20.000 lux no centro de uma área de 500 cm². Este nível de iluminamento é atingido utilizando uma unidade chamada foco cirúrgico. Esta unidade usualmente é composta por um conjunto de lâmpadas incandescentes de baixa potência (geralmente 10 a 12 lâmpadas halógenas de 24 Volts e 70 Watts) [51]. Esta unidade é a única do sistema de iluminação que deve necessariamente ser alimentada pelo sistema de emergência em no máximo 0,5 segundos após a falta. A iluminação geral pode ser ligada ao sistema de emergência de maneira que algumas lâmpadas permaneçam acesas, normalmente metade

das lâmpadas de um local. Para rotas de saída, as lâmpadas devem ser ligadas ao sistema de emergência de maneira alternada.

Aconselha-se que todos os equipamentos utilizados no sistema de iluminação e de força de salas de cirurgia sejam resistentes a corrosão, devido as características da atmosfera do ambiente e por estarem constantemente sendo limpos, logo umedecidos.

Em salas cirúrgicas e locais de GRUPO 2 de maneira geral, deve haver uma ligação equipotencial, visando equalizar diferenças de potencial entre elementos condutores. A NBR-13534 [11] prevê que pelo menos os seguintes elementos sejam ligados ao sistema de equipotencialização:

- a) barra dos condutores de proteção (barra PE);
- b) elementos condutores estranhos à instalação elétrica;
- c) blindagens contra interferências;
- d) malha metálica de pisos condutivos;
- e) massas de equipamentos SELV (por exemplo, luminárias cirúrgicas alimentadas em SELV);
- f) barra da ligação equipotencial;
- g) mesas cirúrgicas fixas não-elétricas;

Obs: dos elementos listados acima, podem ficar excluídos aqueles que se situarem ou só forem acessíveis acima de 2,5 metros do piso.

Algumas especificações mínimas devem ser estabelecidas afim de garantir a funcionalidade destes sistemas de equipotencialização, e as principais são:

- A resistência do condutor de equipotencialização, incluindo a resistência das conexões entre o terminal PE de qualquer tomada de corrente, o terminal PE de

qualquer equipamento fixo ou qualquer elemento condutor estranho à instalação elétrica e à barra de ligação equipotencial não deve ser superior a 0,2 ohms.

- A diferença de potencial entre qualquer elemento condutor estranho a instalação, ou contato PE de qualquer tomada de corrente e a barra de ligação equipotencial, não deve exceder 20 mV. Esta especificação refere-se à instalação elétrica (até as tomadas de corrente).

- Para proteção do paciente contra micro-choques, considera-se que as correntes de paciente não devem exceder 50 μ A. Assumindo uma resistência do corpo do paciente de 1 Kohm, a diferença de potencial entre a massa de um equipamento eletromédico e a barra de ligação equipotencial deve, portanto, ser limitada a 50mV. Logo, a diferença de 30 mV em relação a consideração anterior deve aplicar-se ao equipamento e a seu cabo de alimentação. Neste item a norma NBR-13534 entra em contradição com a NBR IEC 601-1, que prescreve uma corrente de fuga para paciente de no máximo 10 μ A.

Em salas de cirurgia é importante a eliminação de cargas eletrostáticas, que podem causar riscos de explosões devido a descargas deflagradas por estas cargas [51]. Estas cargas são geradas através do atrito entre materiais isolantes e dependem de uma série de fatores ,como por exemplo, a umidade do ar e caminho elétrico para escoamento da corrente. O piso da sala de cirurgia, no caso de ser isolante e com o atrito entre este piso e solas de sapatos isolantes, pode gerar potenciais eletrostáticos perigosos. Logo estes pisos devem oferecer um bom escoamento para as correntes elétricas.

Em contrapartida, um piso de boa condutibilidade pode caracterizar-se como um grande risco para eventuais toque acidentais em partes vivas da rede elétrica ou de equipamentos. Sobre este aspecto, os pisos de salas de cirurgia devem caracterizar-se por terem qualidades semicondutivas.

Segundo Santana [51], a literatura considera piso semicondutor aquele que oferece condições de condutibilidade elétrica e resistência entre 25 Kohms e 1 Mohm,

medida na superfície do piso, entre dois pontos distantes 85 cm. Segundo a NBR-5410 [9], para um piso não ser considerado condutivo, a resistência elétrica deste não deve ser inferior a 50 Kohms. Não deve apresentar resistência superior a 1 Mohm, senão será caracterizado como material isolante [51]. Deve-se constantemente verificar as condições de condutibilidade do piso, através de ensaios específicos para este fim. Creder [24] apresenta com detalhes os procedimentos para a realização destes ensaios.

A confecção destes pisos não é objeto desta pesquisa, apenas as prescrições mínimas exigíveis e podem ser encontradas várias receitas na literatura para a confecção de pisos semi-condutivos. Santana [51] apresenta uma técnica à confecção deste pisos bastante interessante para hospitais. Niskier [49] apresenta outra alternativa a confecção destes pisos.

4.3.1.2 Locais do GRUPO 1: salas de preparação cirúrgica e recuperação pós-cirurgia.

Estes locais caracterizam pela utilização de alguns tipos de equipamentos eletromédicos, principalmente de monitoração. Normalmente nestas salas os pacientes são preparados para a anestesia e recuperação, respectivamente, antes de serem transferidos para outras unidades, como sala de cirurgia ou UTI.

As necessidades em termos de confiabilidade e segurança das instalações elétricas, bem como as principais prescrições previstas em norma para este tipo de local, são as mesmas que para os locais do GRUPO 2, salvo não existir a necessidade de alimentação de emergência em até 0,5 segundos após a falta, não ser necessário a utilização do sistema IT-médico para circuitos de força que alimentem equipamentos eletromédicos, apesar de ser aconselhável sua utilização, não existindo limitações à utilização de dispositivos DR para seccionamento automático de circuitos.

No sistema de equipotencialização em locais do GRUPO 1, a norma não prevê a necessidade de garantir-se a diferença de potencial máxima de 20 mV entre

qualquer elemento condutor estranho à instalação, ou contato PE de tomadas de corrente e barra de ligação equipotencial.

A iluminação nestes locais deve seguir as mesmas orientações que para locais do GRUPO 2, sendo o nível de iluminamento ideal em torno de 500 lux [8]. Nestes locais é interessante que a iluminação proporcione versatilidade para controlar os níveis de iluminamento em diversos pontos da sala, pois freqüentemente existem áreas que devem ser mantidas com iluminação mais suave. Algumas lâmpadas devem ser ligadas ao sistema de alimentação de emergência.

Recomenda-se um número mínimo de 3 tomadas de corrente por leito nestas salas, com potência mínima de 400 VA cada uma, localizadas em um console junto ao leito a uma altura mínima de 1,50 m e devem fazer parte do circuito de alimentação de emergência. Recomenda-se ainda uma tomada de raios X para cada 3 leitos [51].

O sistema de aterramento deve ser eficiente, todas as tomadas devem possuir o condutor de proteção, e cada uma das salas deve ter seu próprio quadro de força.

Nestes locais não é necessário a utilização de pisos semi-condutivos.

4.3.1.3 Locais do GRUPO 0: áreas de apoio e área de circulação

Em centros cirúrgicos, locais como lavabo, vestiários e corredores são enquadrados como pertencentes ao GRUPO 0, pois não são utilizados equipamentos eletromédicos. As instalações elétricas destes locais, devem seguir as especificações da norma NBR-5410 [9], ou seja, devem ser feitas de acordo com as prescrições comuns a maioria das instalações não específicas. Porém é conveniente que sejam levados em conta características funcionais destes locais.

São locais que servirão de apoio a procedimentos cirúrgicos, e devem garantir também confiabilidade e segurança na utilização de energia elétrica. Alguns aspectos devem ser levados em consideração, visando diminuir riscos a usuários.

Deve-se utilizar o sistema de ligação TN-S ou TT, e recomenda-se que deva haver um quadro terminal para as instalações elétricas do GRUPO 0 do centro cirúrgico. Caso sejam necessários mais de um, estes devem estar localizados em um mesmo local. Devem ser previstas tomadas para uso específico de equipamentos como enceradeiras, máquinas de lavar piso, aspiradores de pó, máquinas de esterilização, estufas, etc..., e ainda para uso geral, de acordo com a necessidade de cada área, devendo estas tomadas ficarem em circuitos independentes, projetados para as potências previstas em norma [9] para estes equipamentos e devem estar situadas a, pelo menos, 1,50 metros do piso.

Quanto às necessidades de iluminação, estes locais devem garantir um bom nível de iluminamento para as atividades ao qual se destinam, sendo recomendado utilizar os valores indicados na NBR 5413 [8]. É importante garantir homogeneidade na iluminação de centros cirúrgicos, logo, devem ser utilizadas lâmpadas e luminárias do mesmo tipo que os locais do GRUPO 1 e 2 do centro cirúrgico, e recomenda-se um nível de iluminamento de 500 lux, no mínimo.

Algumas lâmpadas devem ser ligadas ao sistema de emergência, de maneira a garantir a circulação e a realização de atividades nestes locais em caso de falta de energia no sistema principal. Os componentes da instalação elétrica devem ser de boa qualidade, protegidos contra corrosão, pois apesar de nenhum procedimento clínico ser realizado nestes locais, estão constantemente sendo limpos e esterilizados, muitas vezes com substâncias corrosivas.

É importante colocar que normalmente nos hospitais existem dois tipos de centros cirúrgicos, o centro principal do hospital, onde acontecem as médias e grandes cirurgias e o centro cirúrgico ambulatorial, onde são realizadas pequenas cirurgias, de

menor complexidade e risco, não necessitando de equipamentos de monitoração permanente, visto que não são ministradas anestésias de risco. O equipamento de maior risco em centros cirúrgicos ambulatoriais são os bisturis elétricos. Em função disto as instalações elétricas não necessitam de tanta rigidez na sua concepção, como a de centros cirúrgicos de médio e grande porte.

Deve-se sempre que possível atender às exigências de norma para qualquer tipo de centros cirúrgicos, sempre mantendo as condições de confiabilidade e segurança, porém, neste caso, pode ser prevista uma quantidade menor de tomadas. Não é necessário a utilização de sistema IT-médico, visto que não há praticamente uso de equipamentos eletromédicos cotidianamente e pode-se utilizar pisos comuns. Não é necessário que todas as tomadas sejam ligadas ao sistema de emergência, bem como o sistema de iluminação, bastando algumas luminária estarem ligadas a este sistema, como o foco cirúrgico, caso este não possua sistema de alimentação de emergência próprio, e lâmpadas que garantam a circulação e evacuação do local se necessário.

Os demais detalhes devem ser respeitados, garantindo confiabilidade e segurança também a estas instalações.

O projetista ou técnico que venha a realizar qualquer atividade relacionada à projeto e manutenção de centros cirúrgicos, deve conhecer bem as normas de instalações aplicáveis, especificamente as citadas neste item do capítulo, e procurar aplicá-las da melhor maneira possível, respeitando suas prescrições e conhecendo as atividades de cada local destes centros.

4.3.1.4 Instalações elétricas para sala de cateterismo

Estas salas enquadram-se da mesma maneira que as salas de cirurgia de centros cirúrgicos, GRUPO 2 e classe 0,5 e 15. Desta maneira, todas as colocações válidas para salas de cirurgias devem também ser aplicadas nestas salas.

O que difere é que em salas de cateterismo existem equipamentos radiológicos que consomem grande quantidade de energia em função de sua alta potência. Muitas vezes, estes equipamentos necessitam inclusive de alimentação trifásica. A instalação deve estar adequada a suportar estes equipamentos, sendo necessário um estudo detalhado das necessidades.

Geralmente devem ser previstas instalações independentes para estes equipamentos, garantindo os requisitos de confiabilidade e segurança do sistema como um todo. Estes circuitos devem ser dimensionados de acordo com especificações do fabricante do equipamento e em conformidade com as normas apresentadas. Devem necessariamente ser alimentados pelo sistema de emergência e ter assegurado seu funcionamento ininterruptamente.

4.3.2 Instalações elétricas em unidades de métodos invasivos não-cirúrgicos

Estes locais caracterizam-se por serem utilizados para procedimentos clínicos que usam equipamentos eletromédicos invasivos, porém não caracterizando procedimentos cirúrgicos. Podem ser colocados, como exemplos, os locais onde são realizados pequenos procedimentos ambulatoriais, emergências (excluindo locais para pequenas cirurgias), salas de exames ambulatoriais invasivos, como endoscopia gastrointestinal, broncoscopia, colonoscopia, histeroscopia, uretroscopia, etc..., salas de hemodinâmica, salas de hemodiálise e áreas de apoio a estes locais.

Estes locais são enquadrados como pertencentes ao GRUPO 1 e classe 15 de acordo com a NBR-13534 [11], pois utilizam equipamentos eletromédicos, mas não para procedimentos intracardíacos. Como já foi descrito, a instalação elétrica destes locais segue a mesma orientação que para os locais do GRUPO 2, salvo as considerações colocadas no item 4.3.1.2, referentes aos locais do GRUPO 1 de centros cirúrgicos.

O que é importante colocar é que, apesar de estas salas serem utilizadas para procedimentos que geralmente não apresentam alto risco a vida de pacientes e não são procedimentos emergenciais, existe o risco de ocorrência de micro-choques, devido aos exames realizados introduzirem partes aplicadas ao paciente em órgãos internos. Logo, as instalações devem ser projetadas e mantidas em condições de prevenir a ocorrência destes choques. Isto só é obtido, respeitando-se as prescrições contidas nas normas e através de um programa de manutenção preventiva eficiente.

Estas instalações devem ser projetadas de forma a serem flexíveis na sua utilização, tanto em circuitos de iluminação, como, e principalmente, em circuitos de força para equipamentos eletromédicos, pois durante a sua vida útil, certamente novos procedimentos clínicos utilizando equipamentos eletromédicos serão incorporados, e a instalação deve estar apta a suportar estes novos recursos, sem reduzir os níveis de confiabilidade e segurança.

Os locais destinados a procedimentos relacionados à hemodinâmica é que se deve ter um cuidado especial e inclusive, adotar características de locais do GRUPO 2. Isto ocorre porque o tipo de exames realizados nestes locais são muito delicados e expõem o paciente a riscos maiores que outros exames invasivos não-cirúrgicos, pois as partes aplicadas dos equipamentos geralmente estão em contato direto com o sistema de circulação sanguínea do paciente, logo com a maior possibilidade de descargas elétricas no coração. Todo o cuidado para evitar descargas eletrostáticas ou fugas de corrente para o paciente deve ser tomado.

Devido a estes riscos, nestes locais deve-se tomar precauções e seguir prescrições para locais do GRUPO 2, pois estas já são direcionadas para evitar estes tipos de acidentes. Alguns autores procuram expor como deveriam ser instalações para centros de hemodinâmica, e Santana [51] sugere que se deve prever os mesmos cuidados que para salas de cirurgia, com a diferença de que não há necessidade de alto número de tomadas, pois não são utilizados grande número de equipamentos portáteis. Deve-se prever

circuitos exclusivos para alimentação de equipamentos de raios-X, dimensionados de acordo com a capacidade do equipamento e seguidas as prescrições da NBR-5410 [9], pois na maioria dos exames utilizam-se técnicas radiológicas. As tomadas de uso geral devem ser dimensionadas para uma capacidade mínima de 400 VA, evitando-se assim que em casos de emergência clínica, o usuário tenha que procurar tomadas próprias para equipamentos. Por exemplo, o acidente clínico mais comum nestes centros é a parada cardíaca do paciente, sendo necessário utilizar rapidamente o desfibrilador cardíaco, que é um equipamento que necessita rapidez na sua ligação e que o circuito consiga fornecer energia sem risco de atuação da proteção por sobrecarga.

Nestas salas, a instalação deve oferecer um excelente sistema de aterramento e proteção por seccionamento automático através de disjuntores DR. Sugere-se que as tomadas de corrente estejam colocadas a pelo menos um metro do piso, para facilitar a ligação dos equipamentos e evitar cabos estendidos no piso. Todas as tomadas devem possuir pino de aterramento.

Os fabricantes dos equipamentos de hemodinâmica fornecem os esquemas dos quadros de comando e necessidades físicas das salas para a instalação dos mesmos, e todos seguem a mesma linha de atuação, facilitando a padronização. É aconselhável a utilização de pisos semi-condutivos iguais aos de salas de cirurgia. Os circuitos destes equipamentos devem ser exclusivos, sendo que circuitos para equipamentos não médicos, devem estar separados.

A iluminação destas salas deve prever um nível de iluminamento mínimo de 500 lux, e seguir as mesmas orientações dos locais do GRUPO 1 de centros cirúrgicos. Um detalhe é que se recomenda a utilização de iluminação fluorescente e incandescente simultaneamente, sendo esta última regulável através de dispositivos adequados, porque a iluminação fluorescente dificulta a visualização dos monitores de vídeo dos equipamentos, e as equipes médicas, normalmente mantêm iluminação incandescente reduzida durante a realização dos exames.

Todas as tomadas destinadas a equipamentos eletromédicos devem ser ligadas ao sistema de emergência de alimentação em até 15 segundos, bem como algumas lâmpadas das salas e rotas de saída.

4.3.3 Instalações elétricas em unidades de métodos não-invasivos

Estes locais caracterizam-se pela utilização de equipamentos eletromédicos não-invasivos e estão enquadrados, de acordo com a NBR-13534 [11], como locais do GRUPO 1 classe 15 e >15. Os procedimentos clínicos realizados nestes locais geralmente são ambulatoriais, seletivos e não são de risco à vida de pacientes. Em hospitais, normalmente as salas de exames de eletrocardiografia (ECG), eletroencefalografia (EEG), eletromiografia (EMG), salas de ultra-som, salas de exames de raios-X e diagnósticos por imagens ou imageneologia, são locais que se enquadram neste GRUPO. Laboratórios de análises clínicas também enquadram-se nesta categoria, pois utilizam equipamentos considerados eletromédicos.

Novamente coloca-se que as prescrições para locais do GRUPO 1 devem ser as seguidas às instalações elétricas para locais de métodos não-invasivos, e os principais aspectos estão apresentados no item 4.3.1.2, sobre locais do GRUPO 1 em centros cirúrgicos.

Nos locais em que são realizados exames de EEG, ECG e EMG, além dos aspectos referentes à confiabilidade e segurança das instalações elétricas, tanto para equipamentos, como para pacientes, onde todas as medidas de segurança previstas devem ser adotadas, deve-se atentar para o fato de que a maioria dos exames realizados nestes locais são extremamente sensíveis à interferência eletromagnética.

As instalações elétricas devem estar aptas a minimizar estes efeitos, e devem prever circuitos exclusivos a estes equipamentos, em concordância com a NBR 13534 [11] e NBR 5410 [9] além de possuir filtros de linha caso verifique-se tal

necessidade durante sua utilização. A fim de minimizar problemas com interferências, o ideal é que cada circuito possua um fio terra (PE) exclusivo, ligado diretamente ao barramento de terra e disponível no terminal da tomada para alimentação do equipamento. O sistema de aterramento destas salas deve ser extremamente eficiente.

Jamais deve-se utilizar o fio neutro e o fio terra para as mesmas funções, ou seja, o esquema de ligação dos circuitos destes locais deve necessariamente ser o TN-S ou TT (mais aconselhável).

Ainda para prevenir interferências nestes equipamentos e circuitos, deve-se evitar construir estas salas próxima às subestações, transformadores, motores elétricos e cabos de alta potência, pois são grandes geradores de interferência de 60 Hz.

Recomenda-se a utilização do sistema de Gaiola de Faraday [51] para minimizar interferências externas. Este sistema evita que campos eletromagnéticos, principalmente de alta frequência, interajam com equipamentos internos a gaiola, pois o campo interno à estas estruturas é nulo [42] [29]. Atualmente, estes sistemas são implementados na blindagens eletromagnética de salas de EEG, ECG e EMG, e são feitos através da colocação de chapas ou telas metálicas dentro das paredes ou da estrutura das salas. A chapa ou tela deve cobrir totalmente todas as paredes, piso, portas e teto da sala, não devendo haver interrupção na sua estrutura [51]. Deve-se procurar obter no caso de telas o menor espaçamento possível entre suas seções, porém existem técnicas descritas por Kimmel e Gerke [40] que especificam o dimensionamento destas estrutura para encontrar a solução adequada a cada faixa de frequência de campos que se deseja evitar. Toda a estrutura da gaiola deve estar aterrada através de um único ponto e ligada a um sistema de aterramento exclusivo e dimensionado corretamente [43], evitando que possíveis interferências no sistema de aterramento de um quadro de força contaminem o terra da gaiola.

A iluminação destas salas obedecerá a norma NBR 5413 [8], preverá um nível de iluminamento mínimo de 350 lux. Recomenda-se a utilização de iluminação

fluorescente, porém, deve-se atentar ao fato de que os reatores e as próprias lâmpadas são geradores de interferência e devem estar dispostos o mais afastado possível de equipamentos para realização destes exames. No caso da sala dispor de proteção por Gaiola de Faraday, os reatores devem ser instalados externamente a estrutura da gaiola.

Para salas de exames de ultra-sonografia, além das prescrições das normas NBR-13534 [11] e NBR-5410 [9] para o dimensionamento de circuitos a este tipo de instalação, deve-se procurar destinar circuitos exclusivos para cada equipamento de ultra-som e dimensioná-los para potências de, no mínimo, 1 KVA, minimizando eventuais problemas de interferência e dispor de um bom sistema de aterramento.

Atualmente na área de diagnósticos existe um segmento denominado de Imogeneologia, que é geralmente composta pelas unidades de radiologia, hemodinâmica, densitometria óssea, medicina nuclear, ultra-sonografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética nuclear. Já foram analisados os requisitos para instalações elétricas em unidades de hemodinâmica e ultra-sonografia. As outras unidades componentes desta área possuem necessidades de instalações elétricas comuns.

Estes exames não apresentam riscos ao paciente, salvo exceções em casos de estado muito grave do mesmo, em que o próprio deslocamento do paciente até estas unidades já é fator de risco. O que estes exames têm em comum é o fato de que utilizam equipamentos extremamente sofisticados; nos casos de utilização de raios-X, existe a emissão de radiação como no caso de exames de densitometria óssea, tomografia e radiologia geral e nos equipamentos de ressonância magnética, a geração de elevados campos eletromagnéticos. Estes equipamentos consomem grande quantidade de energia, por exemplo tomógrafos computadorizados possuem potência entre 50 e 150 KVA [51] e são alimentados em baixa tensão de 220/380 Volts.

Estas unidades não necessitam de instalações muito sofisticadas, bastando atender às necessidades de carga e segurança dos equipamentos utilizados. Para isto, deve ser considerados circuitos exclusivos oriundos diretamente de subestações para

alimentação destes equipamentos. Os fabricantes fornecem os detalhes de exigências elétricas para instalação destes equipamentos, que normalmente são relacionados à potência dos equipamentos, dimensionamento e especificação dos circuitos de alimentação e sistema de aterramento. Cada unidade deve possuir seu quadro de força e os circuitos devem ser exclusivos deste, não sendo compartilhado com outras salas ou unidades.

Quanto a tomadas de força e iluminação, deve-se seguir os requisitos apresentados para locais do GRUPO 1. Para o sistema de aterramento deve-se considerar a existência de uma malha de terra exclusiva para cada equipamento, evitando a interferência destes em outros equipamentos. Estes equipamentos são bastante protegidos contra interferências externas, não necessitando de maiores cuidados a este respeito. Deve-se alertar para a possibilidade de, em alguns casos necessitar-se de equipamentos de monitoração ou reanimação, devendo a instalação oferecer condições de utilizá-los.

No que concerne à alimentação de emergência, apenas algumas tomadas e iluminação devem ser ligadas ao sistema, a fim de garantir eventuais necessidades de monitoração e reanimação de pacientes. Os equipamentos utilizados não devem ser ligados ao sistema de emergência porque não são utilizados para procedimentos de manutenção de vida diretamente e possuem carga muito elevada para o dimensionamento dos sistemas de emergência.

Carece também considerar a necessidade de climatização destas unidades, tanto para proporcionar conforto térmico a pacientes e corpo clínico, como para garantir a funcionalidade dos equipamentos. Para estes sistemas, caso não haja um sistema de climatização central, devem ser previstos circuitos independentes de qualquer outro destinado a estas unidades.

4.3.4 Instalações elétricas em unidades de tratamento intensivo (UTI)

As unidades de terapia intensiva (UTIs) ou centros de tratamento intensivo (CTIs) são unidades onde existe o tratamento e monitoração constantes de pacientes. Geralmente estes encontram-se seriamente debilitados, com risco de vida e necessitando de cuidados extremos. Caracterizam-se pela utilização de grande quantidade de equipamentos eletromédicos de monitoração, terapêuticos e de manutenção da vida, como é o caso dos ventiladores [25], [28], [32]. Estas unidades estão enquadradas na NBR-13534 [11] como locais do GRUPO 2 e classe 0,5. Isto significa que as instalações elétricas devem ser extremamente confiáveis e seguras e é inadmissível a interrupção no fornecimento de energia a estas unidades.

Estas unidades normalmente são divididas em três categorias, UTIs para adultos, pediátricas e neonatais. As necessidades elétricas são as mesmas, sendo desta forma, válidas todas as colocações feitas para todo o tipo de UTI.

As principais características e requisitos das instalações destas unidades são as mesmas que as colocadas para as salas cirúrgicas que também pertencem ao GRUPO 2 e classe 0,5. Pretende-se apresentar algumas características específicas e que devem ser consideradas para instalações elétricas destas unidades.

Em função da diversificação e evolução constante dos equipamentos utilizados nestes locais, existe a necessidade das instalações estarem aptas a suportar esta evolução e atender com eficiência as necessidades atuais. Estas instalações devem ser projetadas a oferecerem a maior flexibilidade possível para utilização de equipamentos eletromédicos, evitando que o corpo clínico necessite preocupar-se com sua utilização.

A instalação elétrica destinada ao fornecimento de energia aos equipamentos são as de maior importância nestas unidades. Estas instalações são

compostas pelos quadros de força, tomadas de corrente, sistema de aterramento e equipotencialização e condutores.

Nestas unidades, recomenda-se a utilização do sistema de ligação IT-médico para os circuitos destinados a equipamentos, porém, é permitida a ligação através do sistema TN-S ou preferencialmente o TT. Os cuidados referentes a problemas de interferência eletromagnética nestes recintos devem também ser considerados, e caso seja possível, os cuidados tomados para as salas de exames de EEG, ECG e EMG devem ser providenciados.

O sistema de aterramento desta unidades precisa ser extremamente eficiente e confiável, bem como o sistema de equipotencialização, pois os pacientes são expostos diretamente às partes aplicadas de equipamentos e os riscos de macro e micro-choque estão sempre presentes, devendo ser consideradas as mesmas prescrições que para as salas de cirurgia. A respeito da proteção destes circuitos, além das prescrições previstas nas normas NBR-13534 [11] e NBR-5410 [9] e já colocadas anteriormente, tem de levar em consideração que a atuação da proteção, independente do motivo, precisa ser evitado, pois o desligamento de um circuito pode causar sérias consequências ao paciente, inclusive a perda de vidas. Logo, no dimensionamento dos circuitos de alimentação de equipamentos vários aspectos necessitam ser considerados.

O correto dimensionamento para atender as cargas dos equipamentos, seletividade na proteção e exclusividade de circuitos são fatores fundamentais para a eficiência da instalação. Existem várias prescrições referentes a quantidades de tomadas em UTI's e a quantidade ideal é que cada leito disponha de no mínimo 15 tomadas, todas aterradas, e que pelo menos 3 forneçam tensão comercial diferente das demais. No caso de hospitais em Santa Catarina, como o fornecimento de energia em baixa tensão é de 220 Volts, sugere-se 12 tomadas fornecendo esta tensão e 3 tomadas fornecendo 127 Volts.

Estas tomadas devem ser dimensionados para potência mínima de 400 VA, por medidas de segurança, pois a maioria dos equipamentos possui potência inferior a esta, evitando a sobrecarga dos circuitos e eventual atuação da proteção. Cada leito deve ter seu conjunto de tomadas derivadas de fases diferentes, evitando que a queda de uma fase do sistema desative o leito para utilização de equipamentos. Cada leitos deve também possuir circuitos exclusivos, propiciando maior segurança de utilização e flexibilidade em manutenções.

Cada leito também deve dispor de uma tomada para equipamentos de raios-X portáteis, identificadas, com potência mínima de 4500 VA e com circuitos exclusivos e aterrados. Em UTIs pediátricas e neonatais, deve ser previsto também uma tomada por leito para berços e incubadoras, com potência mínima de 1000 VA e também com circuitos exclusivos e aterrados, identificadas para a utilização a qual se destinam. As tomadas destinadas aos leitos devem estar a uma altura de 1,20 m, para facilitar a instalação de equipamentos.

Todas as partes metálicas não pertencentes a instalação devem ser ligadas ao sistema de equipotencialização da unidade, seguindo a orientação para locais do GRUPO 2.

Todas as tomadas destas unidades devem ser ligadas ao sistema de emergência, que deve prover energia em menos de 0,5 segundos após a sua falta. Características específicas destes sistemas serão apresentadas no decorrer deste capítulo.

A iluminação de unidades de terapia intensiva deve ser feita através de lâmpadas fluorescentes e luminárias com as mesmas características daquelas para salas de cirurgia, sendo o nível de iluminamento mínimo previsto na NBR 5413 [8] de 500 lux. Devem ser ligadas ao sistema de emergência da UTI um número de lâmpadas que garanta iluminação às rotas de saída e um nível de iluminamento de 300 lux.

Pisos semi-condutivos também devem ser instalados nestas unidades, pelos mesmos motivos apresentados para as salas de cirurgia.

Nestas unidades, bem como em centros cirúrgicos as instalações elétricas devem ser extremamente confiáveis e seguras pois em caso de falhas, vidas de pacientes podem estar em risco, e o projetista ou pessoa que venha realizar manutenções nestes sistemas deve ter consciência dos riscos envolvidos e necessidades destas instalações.

As características apresentadas neste item sobre distribuição de energia para estabelecimentos assistenciais de saúde são as principais, sendo que para a confecção de um projeto ou manutenção de instalações elétricas hospitalares, deve-se conhecer profundamente as normas aplicáveis e obedecê-las, e ainda procurar conhecer as necessidades específicas do estabelecimento para o qual está sendo dimensionada a instalação elétrica.

A qualidade da energia elétrica nestes estabelecimentos é fundamental para o bom funcionamento das atividades para as quais foram dimensionados. Todos locais abordados neste item dizem respeito à utilização de equipamentos eletromédicos. Outros locais do hospital devem ter instalações que ofereçam os mesmos níveis de confiabilidade e segurança, e devem ser projetados seguindo as normas aplicáveis a cada um. Isto é importante para manter o nível de qualidade da energia no hospital, não bastando que apenas os locais em que utilizem equipamentos eletromédicos garantam estes requisitos em suas instalações.

A qualidade de energia em estabelecimentos assistenciais de saúde depende tanto da qualidade oferecida pela concessionária, quanto da manutenção da qualidade na distribuição interna. Segundo Abreu, Lemos e Filho, em seus trabalhos publicados no XV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica [45][35], os aspectos que influenciam e devem ser considerados para avaliar e garantir qualidade de energia em sistemas hospitalares do ponto de vista da fonte externa de suprimento, são o nível de curto-circuito oferecido pelo sistema, características de rede elétrica compartilhada, variação de tensão, poluição do sistema e confiabilidade, enquanto estes aspectos, do ponto de vista das instalações internas dos hospitais, são os sistemas ininterruptos de

fornecimento de energia, todo o sistema de distribuição interna e aspectos relacionados às interferências eletromagnéticas.

Serão apresentadas a seguir algumas considerações sobre aterramento em instalações elétricas hospitalares, sistemas isolados para instalações médicas e sistemas de alimentação de emergência.

4.4 ATERRAMENTO

Conforme foi apresentado no decorrer deste capítulo, o sistema de aterramento em instalações elétricas hospitalares, principalmente para instalações destinadas ao uso de equipamentos eletromédicos, deve ser de grande eficiência, a fim de garantir a confiabilidade, segurança e qualidade no fornecimento de energia elétrica. Neste item será apresentada uma introdução à sistemas de aterramento hospitalar e as etapas necessárias a um projeto destes sistemas.

De maneira geral, para que um sistema de distribuição de energia elétrica opere adequadamente, independente de sua aplicação, garantindo continuidade de serviços, desempenho eficiente dos sistemas de proteção e nos limites de segurança pessoal, deve ser tratado de maneira especial.

Para que um sistema de aterramento atenda os objetivos desejados, é fundamental a elaboração de projetos específicos, considerando todas as condições possíveis as quais o sistema possa ser submetido, levando consideração dados relativos a parâmetros da instalação e do solo em que se pretende implantar o sistema aterramento.

O termo aterramento é conceituado por Niskier [49] como sendo a ligação de um equipamento ou de um sistema à terra, por motivo de proteção ou por exigência quanto ao funcionamento do mesmo.

De acordo com Kindermann [43], os principais objetivos de um sistema de aterramento são:

- Obter uma resistência de aterramento a mais baixa possível para correntes de falta à terra;
- Manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro de limites de segurança, de modo a não causar fibrilação no coração humano;
- Garantir maior sensibilidade aos equipamentos de proteção, fazendo com que atuem mais rapidamente em caso de falhas;
- Proporcionar um caminho de escoamento para a terra de descargas atmosféricas.

Estes sistema são implementados através de condutores de proteção, destinado a ligar massas de equipamentos e elementos condutores estranhos à instalação e barramentos de quadros de distribuição aos eletrodos de aterramento. Segundo a NBR-5410 [9], o máximo valor admissível para o sistema de aterramento é de 2 ohms. A DPSC/NT-03 [22], norma da CELESC, estabelece o máximo valor admissível para o sistema de aterramento em 10 ohms, sendo esta norma aplicada a edifícios de uso coletivo, sendo que para locais destinados a procedimentos clínicos, cabe a adoção do valor prescrito pela NBR-5410. Os eletrodos de aterramento são formados por um condutor ou um conjunto de condutores em contato direto com a terra, podendo constituir a malha de terra, ligados ao terminal de aterramento. Existem várias maneiras de implementar uma malha de terra, que vão desde uma simples haste , placas condutoras de formas e tamanhos diversos, barras condutoras e cabos compondo estruturas complexas enterradas no solo.

Os principais tipos de sistemas de aterramento utilizados são:

- haste simples;
- hastes alinhadas;
- hastes em triângulo;
- hastes em quadrado;
- hastes em círculos;
- placas de material condutor;
- cabos enterrados no solo, formando configurações em cruz, estrela, quadriculares ou simplesmente estendidos no solo.

Deve-se selecionar o tipo de sistema de aterramento a ser utilizado em função das necessidades do sistema e das características do solo em que será implantado o aterramento.

Os materiais que estes elementos são constituídos devem apresentar boas características de condutibilidade elétrica, deve ser inerte às ações corrosivas do solo e atmosfera, como ações de ácidos e sais dissolvidos no solo e corrosão galvânica, devendo possuir boa resistência mecânica para que possam ser introduzidos no solo com facilidade e segurança. Normalmente são utilizadas hastes de aço de seção circular onde o cobre é fundido sobre a mesma, denominada hastes tipo Copperweld. No caso de malhas de terra, são utilizados cabos de cobre ou alumínio. Existem outros tipos, como as encamisadas por extrusão, que são constituídas de aço revestidas por um tubo de cobre através do processo de extrusão, e as tipo Cadweld, onde o cobre é depositado eletroliticamente sobre a alma de aço.

Para projetar um sistema de aterramento eficiente, deve-se seguir algumas etapas fundamentais.

Primeiro precisa-se definir o tipo de sistema de aterramento desejado. Para tanto carece saber quais serão às exigências das instalação. Para hospitais, podem ser

previstos vários tipos de sistemas de aterramento, porém o mais indicado são as malhas de terra para o aterramento geral da instalação e, para locais que necessitem de aterramento próprio, pode-se utilizar as configurações apresentadas aplicando hastes de aterramento.

A seguir define-se definir o local ou locais em que serão instalados os sistemas de aterramento. Esta localização dependerá da posição estratégica ocupada pelos equipamentos e instalações importantes ao sistema elétrico. Por exemplo, é muito importante a localização das subestações do hospital, merecendo o sistema de aterramento estar o mais próximo possível destas. De maneira geral, devem ser levadas em consideração os seguintes aspectos para a definição dos locais para o sistema de aterramento:

- Centro geométrico de cargas;
- Locais do terreno disponíveis e acessíveis;
- Localização das subestações;
- Estabilidade do terreno;
- Resultados de medições de resistividade nos locais selecionados.

A resistividade do solo é um fator fundamental em um projeto de sistemas de aterramento e que determinará as especificações do projeto. Vários fatores influem na resistividade do solo, e podemos ressaltar o tipo do solo, mistura do solo, estratificação do solo, umidade, temperatura, compactação e pressão e composição química. A resistividade do solo é levantada através de medições de campo, utilizando métodos de prospecção geoeletricos, sendo o mais conhecido e utilizado o Método de Wenner, muito bem apresentado por Kindermann e Campagnolo, no livro Aterramento Elétrico [43].

E por fim, para concluir um projeto de aterramento, tem-se que dimensionar o sistema de aterramento, levando em consideração os resultados das medições realizadas e os requisitos exigidos pela instalação em termos de segurança e

funcionalidade. Muitas vezes, é necessário reavaliar o tipo de sistema e local em que será instalado o aterramento. Para estabelecimentos assistenciais de saúde, estes sistemas devem garantir os valores de resistência máximos prescritos em norma para as instalações descritas nos itens anteriores. Campos e Filho [19] apresentam uma ferramenta computacional baseada na aproximação potencial constante para eletrodos afim de dimensionar sistemas de aterramento para instalações elétricas hospitalares mais eficientes.

É importante colocar que este item do capítulo pretende introduzir às necessidades para a realização de um bom sistema de aterramento, devendo sempre o projetista referenciar-se na norma NBR 5410 [9] e NBR 13534 [11], que prescrevem e determinam valores mínimos e as orientações para estes sistemas, além de adotar métodos e técnicas confiáveis para levantamento e execução dos mesmos. As manutenções nestes sistemas também precisam ser constantes, afim de garantir sua funcionalidade e devem também ser referenciadas nas normas apontadas.

Existem várias bibliografia que podem ser adotadas para auxílio no projeto e manutenção de sistemas de aterramento, além das normas, como por exemplo as referências [44], [49], [43] e [24].

4.5 SISTEMA ISOLADO

O sistema de ligação isolado ou IT, descrito neste trabalho como sistema IT-médico é previsto pela NBR 13534 [11] para locais do GRUPO 2 para alimentação dos circuitos destinados a equipamentos eletromédicos. Estes sistemas apresentam características e prescrições particulares, onde as principais serão apresentadas no decorrer deste item.

Estes sistemas são extremamente úteis na prevenção de acidentes elétricos caso hajam contatos involuntários com partes vivas da instalação ou equipamentos. Este

sistema é implementado através do uso de um transformador de isolamento, isolando o circuito primário do secundário. O circuito primário está ligado à instalação elétrica do hospital, e tem um de seus terminais aterrados. O secundário origina os circuitos que fazem parte do sistema isolado e caracterizam-se por não apresentarem uma ligação direta com a terra.

Como este circuito secundário não apresenta uma ligação direta com a terra, possibilita que, caso ocorra um contato com uma parte da instalação elétrica ou qualquer parte viva de equipamentos, ou carcaças destes com tensão, não ocorra a circulação de corrente para a terra, diminuindo os riscos de choque elétrico.

A NBR 13534 [11] prescreve algumas características mínimas que estes sistemas devem oferecer. Os transformadores utilizados no sistema devem ser instalados o mais próximo possível do local que alimenta, porém de forma segregada. A tensão nominal do secundário não deve exceder jamais 230 Volts e ter dimensionamento conforme a norma IEC 742 [37].

As instalações do sistema IT médico devem dispor de um sistema de monitoração e alarme posicionado de maneira que a instalação possa ser permanentemente supervisionada pela equipe médica. Estes sistemas precisam conter os seguintes componentes:

- uma lâmpada sinalizadora verde para indicar operação normal;
- uma lâmpada sinalizadora amarela que se acenda quando a resistência de isolamento atingir o valor mínimo fixado (50 Kohms);
- um alarme audível que soe quando a resistência de isolamento atingir o valor mínimo fixado. Este sinal pode ser silenciado, mas não cancelado, somente após remoção da falta.

Este dispositivo supervisor de isolamento tem de preencher os seguintes requisitos adicionais: a resistência interna CA do dispositivo ser de, no mínimo, 100 Kohms, a tensão de medição não ser superior a 25 Volts, a corrente de medição não deve

ser superior a 1 mA, e a indicação deve ocorrer antes, ou no máximo, assim que a resistência de isolamento cair a 50 Kohms.

Os circuitos de tomadas de corrente alimentados por este sistema devem ser repartidos em no mínimo, dois circuitos independentes e quando houver outros sistema de ligação (TN-S ou TT), as tomadas servidas pelo sistema IT devem ser não-intercambiáveis com plugues previstos para conexão aos outros serviços, e devem ser identificadas como pertencentes ao sistema IT. Cada sala de cirurgia deve possuir um transformados isolador exclusivo, localizado se possível junto ao quadro de força da sala.

É importante estar atento ao fato de que a utilização deste sistema dificulta a detecção de defeitos de quebra da rigidez de isolação de equipamentos, aumentando a probabilidade de ocorrência de outras falhas [48].

Estas são as principais características que estes sistemas precisam oferecer, porém, devem ser consultados as normas NBR 5410 [9], NBR 13534 [11] e IEC 742 [37], quando forem ser projetados ou realizar-se manutenções nestes sistemas de ligação.

4.6 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Como já foi apresentado no decorrer deste capítulo, a falta de energia elétrica em determinadas áreas do hospital pode ter consequências danosas. Portanto este é um item da instalação elétrica em que se deve ter extremo cuidado quando da especificação e projeto, e deve-se garantir através de testes e manutenções periódicas o seu funcionamento a qualquer instante.

A norma NBR 13534 [11] prevê que o sistema de emergência de um hospital consiga fornecer energia no caso de faltas em tempos inferiores a 0,5 segundos, até 15 segundos ou em tempos superiores a 15 segundos. Estas exigências são simultâneas, exigindo que este sistema apresente pelo menos três características funcionais distintas. É previsto ainda que os sistemas de emergência atuem caso

verifique-se uma queda de tensão superior a 10% do valor da tensão nominal em uma das fases que estão ligadas a estes sistemas, e respeitados os limites de tempo impostos pela norma para serviços com tempo de comutação admissível de até 0,5 e 15 segundos que é de 3 segundos.

Atualmente, a maioria dos sistemas de emergências são compostos por grupos geradores diesel-elétrico que possuem capacidade de fornecimento ininterrupto, porém, não apresentam condições de entrar no sistema imediatamente após a ocorrência da falta, não atendendo às necessidades de locais de classe 0,5, e sistemas de alimentação de emergência conhecidos como Sistemas Ininterruptos (UPS) [37] ou Sistema Estático de Alimentação Ininterrupta [48] ou Sistemas No-break.

Os grupos geradores diesel-elétrico geralmente alimentam grandes cargas nos hospitais, sendo de porte relativamente grande, e a inércia de alguns componentes, principalmente o eixo do gerador, impedem sua entrada imediata no sistema. Existem alternativas para solução destes problemas com este tipo de gerador, como a apresentada por Monte [48], que pode ser a utilização de sistemas auto-volantes que se caracterizam pela utilização de um motor elétrico a manter o eixo do gerador em uma rotação nominal para entrada imediata no sistema até que o motor diesel adquira velocidade nominal para assumir o controle.

Este sistema de geração de emergência é utilizado para suprir as cargas que não necessitam de alimentação ininterrupta, caso dos locais de classe 15 e > 15 de hospitais. São utilizados também para alimentar cargas consideradas essenciais à segurança e funcionamento de hospitais, como instalações técnicas do hospital, sistemas de ventilação, elevadores, acumuladores de baterias, sistema de comunicação interna e iluminação de emergência. Sua comutação ao sistema pode ser automática ou manual, recomendado-se que sempre que possível seja automática.

A norma NBR-13534 [11] prescreve que para serviços de comutação admissível superior a 15 segundos, além dos locais de aplicações médicas de classe >15,

os locais necessários a manutenção dos serviços hospitalares podem ser comutados a estas fontes de segurança, e esta comutação poderá ser manual ou automática. Prevê também que tais fontes garantam a alimentação de energia elétrica por pelo menos 24 horas.

Para alimentação de emergência de locais de classe 0,5, como os grupos geradores diesel não garantem o tempo máximo previsto, utiliza-se a alimentação por sistemas no-break, que são compostos basicamente por um banco de baterias, retificadores e inversores, e que possibilitam a entrada no sistema imediatamente após a ocorrência da falta. Monte [48], apresenta vários exemplos e esquemas de ligação exemplificando estes sistemas. No caso de hospitais, pelo menos as unidades de terapia intensiva deveriam possuir estes sistemas.

Estes sistemas devem prover energia por, pelo menos 1 hora, no caso de luminárias cirúrgicas estarem ligadas ao sistema e estas possuírem fontes próprias de segurança. Caso não possuam tais fontes, o sistema deve prover energia por, pelo menos, 3 horas. A grande vantagem de se utilizar estes sistemas no-breaks através de baterias é o fato de que garantem energia ininterrupta aos locais necessitados e após a entrada no sistema de grupo gerador diesel-elétrico, os circuitos podem ser conectados a este sistema, reduzindo as necessidades de capacidade dos no-breaks e, conseqüentemente, diminuindo seu custo.

A norma ainda prevê que além dos sistemas de iluminação descritos ao longo deste capítulo, a iluminação e sinalização em rotas de fuga deve ser garantida, com um nível de iluminamento mínimo de 1 lux no plano e de 5 lux em degraus. Os locais destinados a abrigar os grupos geradores de emergências e quadros de distribuição devem ter iluminância mínima de 15 lux.

A NBR-13534 [11] também prevê que equipamentos elétricos integrados ao suprimento de gases para fins médicos, incluindo ar comprimido e vácuo, e à exaustão

de gases anestésicos e equipamentos de monitoração associados, sejam também ligados ao sistema de emergência.

Existem vários aspectos que podem ser considerados para o planejamento de sistemas de segurança, e deve sempre no caso de projetos e manutenções, consultar além da NBR-13534 [11], as normas NBR-5410 [9] e NBR 10898 [13].

A manutenção destes sistemas é de vital importância para o seu funcionamento e sugere-se que mensalmente sejam realizadas manutenções preventivas e testes para garantir sua eficácia.

4.7 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES

Conforme apresentado ao longo deste capítulo, um projeto elétrico hospitalar é extremamente complexo e exige cuidados especiais para que atenda os objetivos esperados de funcionalidade, confiabilidade e segurança, para equipamentos e usuários. Porém tão importante quanto um bom projeto, deve ser a sua execução e manutenção.

Além de todos os aspectos já apresentados para cada um dos locais em que existe a possibilidade de utilização de equipamentos eletromédicos, no que se refere às instalações elétricas, é importante que testes preventivos sejam realizados constantemente nas instalações para garantir sua funcionalidade. Estes testes devem ser realizados periodicamente pela equipe de manutenção elétrica dos hospitais, e também antes da liberação para uso de instalações novas.

A NBR-13534 [11] apresenta prescrições mínimas de testes que devem ser realizados nas instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde. Além das prescrições contidas na parte 7 da NBR-5410 [9] que são válidas para qualquer tipo de

instalação, as instalações submetidas a NBR-13534 [11] devem ainda ser testadas nos seguintes aspectos:

a) ser realizados ensaios de funcionamento com todos os dispositivos de comutação, para verificar se atendem as exigências previstas em norma;

b) ser realizados ensaios de funcionamento dos dispositivos supervisores de isolamento e dos sistemas de alarme das instalações IT-médicas;

c) ser feita a verificação, mediante inspeção visual, da seleção e ajuste dos componentes sob o ponto de vista da obtenção de uma correta seletividade para as instalações de segurança. As características e ajustes dos componentes instalados devem corresponder às especificações e cálculos de projeto;

d) Medições e verificações destinadas a comprovar a conformidade da ligação equipotencial suplementar, conforme os itens da norma. Para esta medição utiliza-se voltímetro que indique valores eficazes, cuja resistência interna não seja inferior a 1 Kohm e cuja faixa de frequências não ultrapasse 1 KHz.

e) Devem ser verificados e comprovadas a observância das instalações a todas as prescrições de segurança previstas pela norma (item 6.6 da NBR 13534).

É recomendado que as verificações descritas nos itens a), b) e c) devem ser repetidas a cada 12 meses, e as verificações dos itens d) e e) devem ser realizadas a cada 6 meses.

Outros detalhes da instalação elétrica podem e devem ser verificados, assim como instalações de apoio às elétricas, como por exemplo, os sistemas de exaustão de gases anestésicos de salas de cirurgia.

Gewer e Binseng [32],[33], apresentam alguns testes preventivos para instalações elétricas hospitalares em uso e que são de bastante utilidade para a garantia da funcionalidade destas instalações.

São os seguintes testes:

- Testes em tomadas de corrente: devem ser inspecionadas para verificação da força de retenção do pinos do plugue de equipamentos eletromédicos, verificação da conformidade com a norma da polaridade e isolamento entre os condutores;

- Testes de superfícies condutoras: devem ser medidas tensões diferenciais e impedâncias entre superfícies condutoras em relação à terra de tomadas. Deve-se utilizar um resistor de 1 Kohm, com frequência abaixo de 1 KHz, comparando os resultados com os valores previstos em norma.

- Testes de pisos anti-estáticos ou semi-condutivos: a condutividade destes pisos deve ser medida através de eletrodos especiais sob um peso fixo [39] [24]. Através de um megômetro capaz de aplicar 500 Volts DC, mede-se a impedância entre pontos diferentes do piso e o condutor de proteção.

- Testes de sistemas isolados: Os monitores de isolamento devem ser testados acionando-se o botão de teste ou introduzindo falhas para terra através de resistores apropriados [37].

- Testes de sistemas de emergência: os sistemas de emergência devem ser testados cronometrando-se o tempo total necessário para a transferência total de carga. Devem ser comparados com os valores previstos pela NBR 13534 [11].

O GPEB adquiriu recentemente um equipamento específico para realização de testes de segurança em equipamentos eletromédicos. O equipamento é o 601 PRO da Biotek, e realiza nove testes de segurança elétrica previstos pela NBR IEC 601-1. Realiza também alguns testes nas instalações elétricas, como teste de tensão, consumo de corrente e polaridade. Assim, em estabelecimentos que possuam

equipamentos semelhantes a este, devem ser implementados programas de verificação em equipamentos eletromédicos e instalações, em função das facilidades para realização dos testes oferecidas pelo equipamento.

Além destes testes, é preciso ser feita uma verificação visual permanente do estado geral das instalações elétricas, como verificação de depósito de sujeira em quadros de força, oxidação em tomadas de corrente, oxidação de contatos elétricos, entre condutores e barra de alimentação de quadros, presença de umidade em áreas de risco elétrico entre outros.

Deve-se verificar também, constantemente, através de dispositivos específicos, como registradores de carga, a situação da demanda de energia nas fases que alimentam ao quadros de força do hospital. Esta verificação deve ser feita desde a subestação até o quadro terminal, a fim de identificar eventuais sobrecargas em condutores e desbalanceamento do sistema.

5. ANÁLISE DE LEVANTAMENTOS EM HOSPITAIS

5.1 INTRODUÇÃO AO LEVANTAMENTO DOS DADOS

Como já foi apresentado no capítulo 2 deste trabalho, o levantamento dos dados referentes à situação das instalações elétricas de alguns hospitais da Grande Florianópolis foi fundamental para os objetivos desta pesquisa.

Sendo o objetivo principal deste levantamento obter informações para comparações com a normatização existente para instalações elétricas, e em função de uma análise prévia da realidade destes hospitais, concluiu-se que informações referentes a aspectos básicos e fundamentais destas instalações seriam mais importantes do que medições de parâmetros das mesmas.

Para a realização dos levantamentos foi elaborada uma ficha padrão que deveria ser preenchida para cada local dos hospitais analisados, e que possibilitariam referenciar a situação das instalações com as normas específicas. Os locais dos hospitais em que foram realizados os levantamentos são aqueles onde se utilizam os equipamentos eletromédicos, ou destinam-se a procedimentos clínicos, e tiveram suas necessidades consideradas em relação às apresentadas no capítulo 4. Instalações de áreas não destinadas para fins médicos não foram levantadas, apenas foram feitas verificações visuais e através de entrevistas com os responsáveis técnicos de cada hospital por estas áreas.

Foram analisadas também a situação das subestações e sistemas de geração de emergência deste hospitais, visto que é de fundamental interesse para a eficiência e avaliação das instalações elétricas hospitalares.

Os hospitais da Grande Florianópolis em que foram realizados estes levantamentos são os seguintes: Hospital Universitário, Hospital Infantil Joana de

Gusmão, Hospital Nereu Ramos, Hospital Regional Homero de Miranda Gomes, Maternidade Carmela Dutra e Hospital de Caridade

5.1.1 Ficha de levantamento das instalações elétricas

Um modelo da ficha utilizada para o levantamento das instalações elétricas dos hospitais é apresentada no Anexo A do trabalho. As informações contidas visam fornecer dados básicos para uma análise e posterior avaliação da situação encontrada.

Inicialmente deveriam ser preenchidas com informações referentes a identificação da hospital, a data e o local do levantamento, bem como o enquadramento deste local frente a NBR-13534 [11]. Deveriam ser informadas a situação da instalação relativa aos esquemas de ligação para cada local verificado e informações referentes a existência de barramento de terra, barramento equipotencial, sistema isolado, monitoração de sistema isolado, piso semi-condutivo ou anti-estático e proteção por extra-baixa-tensão (SELV/PELV ou FELV), bem como sua tensão nominal.

Informações concernentes ao sistema de proteção incluiu a verificação do tipo de proteção utilizada, ou seja, quais são os tipos de dispositivos utilizados para o seccionamento dos circuitos, sendo possíveis as seguintes opções: disjuntor termomagnético, disjuntor DR, elo fusível ou nenhuma proteção.

A seguir deveriam ser informadas a situação referente às tomadas de corrente deste locais. São coletadas informações sobre o número de pinos disponíveis, polaridade, força de retenção, altura, estado geral e observações necessárias.

Por fim, informações quanto ao estado geral das instalações, observações sobre iluminação, organização, problemas funcionais apresentados, utilização de extensões e outros fatores relevantes encontrados são relacionados na ficha.

É importante ressaltar, e isto pode ser observado na estruturação desta ficha, que o levantamento realizado é principalmente qualitativo ou através de entrevistas quando não houve possibilidade de verificação de algum ponto.

5.2 RESULTADOS DOS LEVANTAMENTOS

A exposição dos resultados dos levantamentos realizados poderia ser feita de duas maneiras. Uma apresentando a situação detalhadamente para cada um dos hospitais, e a outra apresentando os pontos relevantes encontrados em cada hospital e apresentando uma conclusão geral a respeito, englobando todos os hospitais.

Optou-se pela segunda opção, pois verificou-se que a maioria dos hospitais apresentavam praticamente as mesmas situações, sendo que serão apresentadas as particularidades de cada um.

Dentre os hospitais verificados, pode-se colocar que nenhum atende totalmente às especificações previstas pela norma NBR-13534 [11], aos locais para fins médicos. Entre os seis hospitais, destaca-se o Hospital Universitário como sendo um expoente em termos de instalações elétricas hospitalares. Isto porque verificou-se que nos locais para fins médicos existem instalações que procuram atender às especificações da norma, faltando, porém, muito a ser alterado para atender satisfatoriamente tais exigências.

O que se verificou de maneira geral nos outros hospitais é uma total falta de padronização nas suas instalações, não só referente a NBR-13534 [11], publicada recentemente, mas também às normalizações já vigentes na época de concepção destes projetos. O estado das instalações também é bastante crítico, sendo que a maioria dos dispositivos importantes destas instalações estão desatualizados, e muitas vezes já não apresentam desempenho mínimo para garantir as exigências elétricas do hospital em confiabilidade e segurança. Pode-se citar como exemplo, os condutores encontrados nos

Hospitais de Caridade, Nereu Ramos e Maternidade Carmela Dutra, que apresentavam indícios de sobrecarga e ruptura da isolamento e, em alguns casos, utilização de formas de isolamento proibidas pelas normas, tais como utilização de isolamento de tecido. Dispositivos de proteção também desatualizados foram encontrados, sendo que nestes casos, a proteção prevista não era absolutamente confiável.

Foi relatado pelas equipes de manutenção dos hospitais que existe um problema sério no balanceamento das cargas entre as fases do sistema. Isto resulta em sobrecarga de condutores e transformadores, diminuindo ainda mais os níveis de confiabilidade e segurança das instalações dos hospitais.

Nenhum dos hospitais apresentou um sistema de alimentação de emergência que atendesse às prescrições da norma, devido ao fato dos equipamentos estarem desatualizados e possuírem apenas o sistema de motogeradores diesel-elétrico, que não consegue atender às exigências dos locais de classe 0,5.

Quanto aos sistemas de aterramento, o que se verificou é que estes estão presentes em todas as instalações, porém não foi possível realizar-se medidas para uma avaliação mais detalhada. Como também não foi fornecida nenhuma informação que permitisse esta avaliação, levando a concluir que não existem garantias quanto ao correto funcionamento destes sistemas, pois nem as equipes de manutenção elétrica dos hospitais tem esta informação.

Sistemas de ligação equipotencial não foram encontrados em nenhum dos hospitais, bem como o respeito aos esquemas de ligação previstos em norma, onde, por exemplo, apenas o Hospital Universitário e Hospital Homero de Miranda Gomes apresentavam o sistema IT-Médico nas salas de cirurgia.

A seguir serão apresentadas algumas particularidades importantes encontradas em cada um dos hospitais verificados.

Hospital Universitário:

No Hospital Universitário, a situação das instalações elétricas em locais para fins médicos foi melhor analisada, em função do maior acesso à estas instalações e aos profissionais responsáveis pelas mesmas. Desta forma, foi possível ter acesso às plantas e documentos do projeto elétrico original, foi possível conhecer um histórico da evolução das instalações e conhecer bem o programa de manutenção do hospital.

A situação das instalações elétricas deste hospital difere em muito da realidade dos outros, apresentando algumas características que se enquadram nas normas, porém apresentando ainda muitos detalhes a serem corrigidos.

Na análise do projeto elétrico, verificou-se que praticamente todos os itens previstos estão em conformidade com a normalização, sendo as discordâncias devido ao tempo em que este projeto foi realizado, datando de aproximadamente 15 anos. Isto deve-se ao fato de que o Hospital Universitário foi concebido como, e é um modelo de hospital padrão Norte Americano, sendo que todos os seus projetos foram feitos de acordo com as normas vigentes naquele país em sua época, e como a norma brasileira foi fortemente baseada em normatizações internacionais, possibilitou tal enquadramento.

Porém, quando da execução dos projetos e manutenções realizadas no início de funcionamento do hospital, não foram respeitadas muitas das prescrições deste projeto, sendo que pode se considerar que algumas partes das instalações atualmente ainda estão em conformidade com o projeto original.

Este fato ocasiona atualmente uma série de problemas funcionais e de manutenção para esta instalação. No início da década de 90 o hospital apresentava uma série de problemas, destacando-se a falta de um sistema de aterramento eficiente, circuitos com sistema de proteção inadequada, utilização inadequada de circuitos elétricos, como a utilização conjunta de circuitos destinados a equipamentos eletromédicos do centro cirúrgico para a alimentação de aparelhos condicionadores de ar, detectada pela equipe do NEC e solicitado o reparo junto a Divisão de Manutenção do

HU (DIMA), inversão da polaridade de tomadas, isolação interna de tomadas precárias e fio terra desconectado ou inexistente em algumas tomadas que deveriam apresentá-lo. Este problemas já foram solucionados em sua maioria, principalmente em áreas importantes como o centro cirúrgico e UTI.

Uma situação grave verificada é a utilização de extensões na Unidade de Terapia Intensiva e salas de cirurgia que são proibidas por norma. Isto provoca uma série de problemas, que vão desde a sobrecarga de circuitos e aumento da possibilidade de interferência entre equipamentos até riscos maiores de ocorrência de acidentes elétricos; no caso de salas de cirurgia, risco de ignição de gases inflamáveis, visto que estas extensões são colocadas junto ao piso.

As instalações deste hospital apresentam-se em conformidade com a norma, principalmente nos aspectos relativos aos esquemas de ligação previstos por norma para cada tipo de local, tipo de tomadas de corrente utilizadas e instalação das mesmas, existência de bons sistemas de aterramento e de equipotencialização e existência de pisos semi-condutivos nas salas de cirurgia. Apesar disto, muito deve ainda ser feito para adequar as instalações a NBR-13534 [11].

Por exemplo, as salas de cirurgia apresentam o sistema IT-médico para instalações de força para alimentação de equipamentos eletromédicos, porém, não existe nenhum sistema de monitoração de isolação como prevê a norma. O mesmo é válido para UTI. Nenhuma das salas destinadas a exames de EEG, ECG ou EMG possui sistema de proteção por Gaiola de Faraday contra interferência eletromagnética, e o tipo de proteção dos circuitos por seccionamento automático adotado não está em acordo com as prescrições da norma. Estes são apenas alguns exemplos mais importantes e que deveriam ser adequados à normatização.

Outro detalhe importante encontrado no HU diz respeito ao sistema de alimentação de emergência. O sistema é composto exclusivamente por um motogerador diesel-elétrico, localizado na subestação principal e que não consegue atender as

necessidades previstas pela norma para locais de classe 0,5 e 15. Segundo a equipe de manutenção responsável, o sistema de emergência demora em média 45 segundos para repor a energia dos circuitos ligados a ele.

Existe também um sério problema que diz respeito ao balanceamento das cargas do sistema, que se caracteriza por um desbalanceamento grande e que acarreta problemas para a instalação elétrica, como sobrecarga de condutores e transformadores e correntes excessivas no neutro. Atualmente está sendo realizado um estudo pela equipe de manutenção afim de reparar ou minimizar este problema de má distribuição de cargas.

Hospital Regional Homero de Miranda Gomes:

A situação das instalações elétricas deste hospital são muito semelhantes às do Hospital Universitário, sendo que tudo o que foi colocado para o HU é também válido para este hospital, devendo ressaltar que o hospital passou por uma reforma em suas instalações recentemente e muitos detalhes já foram incorporados à norma, como é o caso dos sistemas de proteção por seccionamento automático e sistemas de equipotencialização.

Segundo a equipe de manutenção do hospital, este não apresenta sérios problemas de balanceamento de cargas do seu sistema, em função da construção do hospital ser recente e ter sido dimensionado de acordo com suas necessidades atuais. O sistema de emergência também é composto exclusivamente por um motogerador diesel-elétrico e que não atende às necessidades de locais de classe 0,5. Segundo informações, o tempo médio de entrada no sistema deste gerador é de 14 segundos.

Hospitais Nereu Ramos, Infantil, de Caridade e Maternidade Carmela

Dutra:

A situação destes hospitais frente às suas instalações elétricas serão apresentadas em conjunto porque apresentaram praticamente as mesmas condições. Verificou-se que suas instalações praticamente não atendem em nada à normatização existente. No caso específico de centros cirúrgicos e UTI's, a instalação só está em conformidade com a norma no que diz respeito à altura das tomadas para equipamentos eletromédicos. Não existem sistemas IT-médico para instalações destinadas a equipamentos eletromédicos, os sistemas de aterramento caracterizam-se por não apresentar nenhuma confiabilidade devido a um projeto mal dimensionado e falta de manutenção preventiva e corretiva; os sistemas de proteção dos circuitos são desatualizados e antigos, não existem piso-semicondutores nas salas de cirurgia, nem sistemas de equipotencialização e, principalmente, os circuitos estão mal dimensionados e utilizados incorretamente, como por exemplo, a utilização do mesmo circuito para as tomadas destinadas aos equipamentos eletromédicos de salas de cirurgia e UTI's com os aparelhos de ar condicionado. Existe também a utilização de extensões em salas de cirurgia e UTI's, que é proibido por norma.

Constatou-se também o mal estado geral das instalações elétricas, com condutores sobrecarregados e já com sua vida útil comprometida, quadros de força em estado de oxidação avançado, e inclusive, circuitos sem proteção.

Os problemas relativos à distribuição e balanceamento de cargas nestes hospitais também são evidentes. Os sistemas de emergência também não atendem às necessidades de locais de classe 0,5 e 15, pois são compostos por motogeradores diesel-elétrico e não conseguem suprir esta necessidade.

Nos locais para exames de EEG, ECG não existe nenhuma precaução referente ao problema de interferência eletromagnética e com a eficiência dos sistemas de aterramento, claramente comprometidos.

Afim de exemplificar a situação crítica destas instalações, podemos citar o caso de uma das salas de radiologia da Maternidade Carmela Dutra, onde a instalação têm, pelo menos, 25 anos, idade do aparelho de raio-X, e utilizava para aterramento do equipamento uma única haste tipo Cooperweld, conectada ao equipamento com um condutor de bitola 2,5 mm², insuficiente para atender às necessidades do equipamento; o quadro de força apresentava um estado avançado de oxidação, com presença de umidade e fungos internamente. O sistema de proteção é feito através de chaves fusíveis que, segundo os usuários, a última vez em que haviam sido trocados fazia 5 anos e o quadro de força ainda era utilizado como armário para guardar pertences pessoais do corpo clínico.

Analisando-se de maneira geral as instalações destes hospitais, as partes do sistema destinadas a equipamentos de diagnósticos mais modernos, como os de diagnósticos por imagem, apresentam boas condições e conformidade com a norma, em face às exigências dos próprios fornecedores destes equipamentos.

5.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES A RESPEITO DOS LEVANTAMENTOS

Como pode ser observado, os levantamentos realizados, em função do que já foi apresentado no capítulo 2, aconteceram com o intuito de se situar e ter-se uma referência das situações das instalações relativas à normatização, não se pretendendo realizar levantamentos detalhados.

Deve-se colocar que a situação das instalações elétricas estão longe de serem as ideais, mesmo para os Hospitais Universitário e Regional onde, conforme já foi colocado, encontramos instalações mais adequadas para estes tipos de estabelecimentos. No caso específico do Hospital Universitário, a situação das instalações é aquela já

referida anteriormente, porque o Hospital foi construído por etapas e não houve preocupação em seguir as especificações do projeto, sofrendo muitas alterações em função de mudanças na estrutura funcional do mesmo, citando como exemplo, casos de locais que foram projetados para atividades administrativas e que atualmente são utilizados como locais para fins médicos.

É importante ressaltar que o Hospital Universitário conta com uma equipe de manutenção muito bem qualificada, também atípica quando comparada às dos outros hospitais, e que está conscientes das necessidades de aperfeiçoamento e melhoria das instalações, tanto do ponto de vista de enquadramento às normas vigentes, como de garantir permanentemente seu correto funcionamento.

O problema para solução da má distribuição de energia elétrica é que seriam necessárias alterações estruturais e organizacionais no hospital, como alteração de horários de exames e cirurgias seletivas entre outros, o que não é possível frente as necessidades da população atendida por este estabelecimento. Este problema pode ser estendido a qualquer um dos hospitais citados.

Nos outros hospitais analisados, não se teve acesso aos projetos originais, não sendo possível uma verificação da conformidade com as normas destes projetos. Como foi apresentado, a situação das instalações são críticas e aliado a este fato ,observou-se que as equipes de manutenção não estão qualificadas para procedimentos em instalações hospitalares, formadas por técnicos com formação geral para eletrotécnica, sem nenhum aperfeiçoamento para lidar com este tipo de instalação. Foi verificado que com exceção da equipe do Hospital Universitário, nenhuma outra tinha conhecimento sobre a normatização existente e necessária para tratar as instalações elétricas destes estabelecimentos.

Um fator agravante, é que alguns destes hospitais estão passando por reforma em suas instalações, especificamente o Hospital de Caridade, que se recupera de

um grande incêndio, e na Maternidade Carmela Dutra, nas novas instalações não está sendo considerada nenhuma prescrição da NBR-13534 [11].

Conclui-se que a situação das instalações de maneira geral é bastante precária tanto do ponto de vista de enquadramento às normas, como do seu estado geral de funcionamento, não havendo nenhum controle sobre a qualidade de energia nestes hospitais, principalmente referente aos locais destinados a procedimentos clínicos, não podendo oferecer aos usuários e pacientes as condições mínimas de confiabilidade e segurança exigidos e esperados de instalações elétricas para fins médicos.

6. CONCLUSÃO:

6.1 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES:

Conforme os objetivos apresentados para este trabalho, tendo como ponto principal um estudo das condições nas quais os equipamentos eletromédicos são ligados aos sistemas elétricos hospitalares, visando adaptar as estruturas às normas técnicas nacionais, este trabalho procurou enfocar todos os aspectos pertinentes ao assunto, desde uma visão da evolução da área de instalações elétricas voltada para estabelecimentos assistenciais de saúde, até uma avaliação da situação real de alguns hospitais da região.

A primeira etapa do trabalho, um levantamento bibliográfico para início das pesquisas, já indicava a dificuldade que se encontraria para atingir os objetivos esperados. A bibliografia a respeito do assunto era bastante reduzida, ficando muito restrita às normatizações nacionais e internacionais e a artigos técnicos. A maioria dos livros existentes na área trata de forma superficial as necessidades de instalações elétricas para estabelecimentos de saúde, quase sempre restrito a locais de maior interesse, como os centros cirúrgicos. Porém, ao final desta etapa foi possível contar com um bom referencial bibliográfico, resultado de intenso trabalho.

A integração com a equipe de Engenharia Clínica do Hospital Universitário foi fundamental para a consolidação deste trabalho, pois foi possível a troca de experiência com profissionais especializados na área de equipamentos eletromédicos, e um maior acesso às necessidades e material técnico da maioria dos equipamentos utilizados em um hospital. A respeito deste assunto, é fundamental que profissionais ligados ao setor de instalações conheçam os equipamentos e suas necessidades elétricas, bem como características de suas aplicações, para que o projeto ou manutenção destas instalações atendam completamente os objetivos para os quais são dimensionados.

Foi possível constatar que já existia a preocupação referente a este tipo de instalação elétrica, muito antes de serem publicadas as normas nacionais, principalmente por parte de pesquisadores, porém, estão ainda muito longe de aplicações práticas e implantação nos hospitais e estabelecimentos de saúde do país. No início da década de 90 verificou-se aumento das publicações na área e um maior interesse por parte dos órgãos responsáveis pela regulamentação de normas e procedimentos, como a ABNT e o Ministério da Saúde.

Em países mais desenvolvidos as necessidades em termos de instalações elétricas hospitalares já está bem consolidada, tanto a nível de normatizações como da situação das instalações, facilitando a adaptação e consolidação de uma normatização para a área no Brasil. Como já foi apresentado, existe uma série de normas que devem ser aplicadas para a realização de projetos para instalações elétricas hospitalares, porém, a forma como foi implementada a principal norma, a NBR-13534 [11], possibilita que projetos sejam feitos com maiores garantias tanto a nível de funcionalidade para equipamentos eletromédicos, como para segurança de usuários e pacientes. Logo, não existem mais justificativas para projetos e instalações mal dimensionadas e que apresentem riscos, pois a aplicação das prescrições da norma não caracterizam um aumento considerável nos custos destas instalações, sendo que este argumento é utilizado com frequência para explicar a situação de praticamente todo o setor de saúde pública no país. A relação custo benefício do atendimento das normas técnicas torna possível a adoção destas nos novos projetos e equipamentos elétricos nos hospitais, fato do qual os administradores devem ser convencidos.

No caso de instituições privadas, onde o problema de recursos financeiros não é tão crítico, o que se verifica é que a situação não difere das instituições públicas. Hospitais e clínicas particulares apresentam suas instalações elétricas fora das normas vigentes, em geral por culpa dos engenheiros responsáveis por estas instalações que, por falta de conhecimento, não adotaram ou não procuram verificar as necessidades

específicas destes estabelecimentos. Os órgão competentes pela fiscalização também possuem sua parcela de culpa, já que não existe uma fiscalização eficiente e específica para o setor, principalmente para verificação das instalações antes da liberação ao funcionamento destes estabelecimentos e em posteriores modificações, até porque inexistem técnicos especializados em número suficiente para realizar o labor que a área está a exigir..

De maneira geral, o que se constatou é que a maioria dos estabelecimentos de saúde no país, sejam públicos ou privados, não apresentam as características mínimas prescritas pelas normas para suas instalações elétricas, ficando a critério das administrações a decisão de como deverá ser feita esta instalação. Pode-se citar como exemplo casos em estabelecimentos assistenciais de saúde que têm seus projetos feitos de acordo com a normatização, porém, quando da execução das obras, a maioria das prescrições do projeto foram negligenciadas pelos responsáveis pela execução, visando redução de custos, e nenhuma fiscalização às instalações internas destes estabelecimentos foi realizada para detecção e correção destes aspectos negligenciados. Podes-e afirmar, igualmente, que falta conscientização dos riscos ao se descumprirem as normas, seja por aprte dos responsáveis diretos, como pelos seus usuários.

Daí concluir-se que a situação das instalações elétricas em estabelecimentos de saúde no país encontram-se em má situação, principalmente devido a uma falta de normalização específica para o setor até 1995, quando foi publicada a norma específica, mas também devido a falta de fiscalização por parte dos órgão competentes. Atualmente existem regulamentações do Ministério da Saúde que respaldam os órgãos fiscalizadores para exigir a aplicação das normas, como é o caso da Portaria 2662, que determina que todas instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde devem estar adequados a norma NBR-13534 [11].

Outro aspecto importante para garantir a qualidade das instalações elétricas para utilização de equipamentos eletromédicos nestes estabelecimentos diz respeito à

manutenção destas instalações. Não basta o projeto e a execução estarem de acordo com as normas se não houverem manutenções eficientes. Estas manutenções devem ser feitas por técnicos especializados, com conhecimento das normas e das necessidades dos equipamentos utilizados em cada um dos recintos para fins médicos. Logo, devem ser técnicos treinados e haver programas de manutenção preventiva e corretiva para todos estes estabelecimentos.

Durante o levantamento da situação das instalações nos hospitais, verificou-se que inicialmente os profissionais ficaram receosos de colaborarem, vendo como um risco às suas atividades a possível apuração de eventuais falhas. Foi necessário esclarecer que a pesquisa visava justamente oferecer subsídios para reivindicar condições necessárias à realização das atividades destes profissionais, bem como apurar a situação e o que deveria ser alterado nestas instalações. Estes profissionais ligados ao setor de manutenção mostraram-se dispostos a aperfeiçoar-se através de programas de treinamento e reciclagem técnica.

6.2 SOLUÇÕES PROPOSTAS:

Um dos objetivos deste trabalho é apresentar soluções para os problemas que fossem encontrados, isto é, levantar o diagnóstico e recomendar o tratamento..

Em função da situação verificada nos hospitais pesquisados e através de trabalhos publicados tratando de outros hospitais em diferentes regiões do país, verificou-se que uma das soluções para o problemas das instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde destinadas a equipamentos eletromédicos passa por um programa de conscientização dos profissionais ligados ao setor, desde administradores de hospitais e clínicas, órgãos regulamentadores e fiscalizadores, engenheiros e técnicos responsáveis por estas instalações, além de um programa de treinamento específico para equipes de manutenção dos hospitais, mostrando as necessidades e riscos relacionados à instalações

elétricas. Esta conscientização é necessária para que recursos sejam destinados e maximizados na solução destes problemas.

Sugere-se que os órgãos públicos competentes e associados às entidades de classe que fiscalizam os profissionais atuantes no setor, no caso o CREA, implementem uma política para conscientizar, treinar e fiscalizar tais profissionais, bem como manter estas instalações sob vigilância.

A fiscalização das instalações elétricas atualmente é feita pela concessionária de energia elétrica de cada Estado, ficando restrita à aprovação dos projetos e fiscalização das entradas de fornecimento de energia até a subestação da edificação, passando as instalações internas à responsabilidade técnica do engenheiro que a projetou e executou. Verifica-se em Santa Catarina que este órgão não aplica em suas avaliações para estabelecimentos a norma específica para instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde, a NBR-13534 [11], ficando a cargo do profissional responsável pelo projeto sua aplicação ou não. O que se sugere a este respeito, é que o órgão fiscalizador passe a incorporar nas suas avaliações a norma, pois desta maneira, necessariamente os profissionais responsáveis terão que tomar conhecimento e aplicar a norma prevista.

Associado a isto, deveria haver um sistema de fiscalização para estes estabelecimentos, não só a nível de projeto após a execução e liberação para funcionamento, mas através de um programa de fiscalização permanente a fim de que a infra-estrutura elétrica seja mantida, mesmo após manutenções e ampliações. Também seria aconselhável o acompanhamento por parte de um profissional especializado, no caso de um engenheiro clínico, durante a realização dos projetos e manutenção destas instalações, e fiscalizações visando a observância das necessidades de equipamentos eletromédicos.

Exemplo a ser citado é a inclusão da exigência no Estado de São Paulo para que as edificações ao serem liberadas pela prefeitura, as instalações elétricas também sejam verificadas e aprovadas antes de sua liberação.

Deveria ser exigido por parte do CREA que os profissionais envolvidos em atividades de manutenção ou projeto de instalações elétricas hospitalares participassem de programas de especialização na área. A respeito de treinamento, é muito importante que este seja oferecido para os profissionais envolvidos na manutenção destas instalações, e isto poderia ser oferecido por varias entidades, como CREA, Universidades, Escolas Técnicas, além de cursos de treinamento direcionados diretamente aos profissionais já atuantes na área, e que deveria ser oferecido pelos órgão públicos responsáveis pelos hospitais ou pela própria administração dos hospitais. Também nas Universidades e Escolas Técnicas, que formam os profissionais que atuarão diretamente na área técnica, incluir nos seus currículos esta formação.

Para solução dos problemas encontrados nos hospitais pesquisados, o que se sugere é a apuração mais detalhada da situação e, então, elaborar um programa de reestruturação e adaptação das instalações elétricas às normas, através de alterações prioritárias e mais emergenciais, em função da falta de recursos públicos para a área e, gradativamente, promover alterações no restante das instalações que devem ser modificadas.

Deve haver também uma política de segurança elétrica nos hospitais. Esta política deve cobrir a segurança de pacientes, visitantes, funcionários e corpo clínico, bem como a das instalações elétricas hospitalares. Esta política precisa abranger todas as atividades relacionadas direta e indiretamente ao uso de energia elétrica.

Particularmente no caso de segurança relacionada à utilização de equipamentos eletromédicos, deve-se ter esta preocupação desde a compra dos equipamentos , onde serão ser especificados e verificados pela equipe de Engenharia Clínica do hospital quanto às suas necessidades em termos de instalação elétrica e devem

ser feitas manutenções preventivas nos equipamentos, para de garantir sua funcionalidade e segurança.

Quanto às instalações elétricas, o hospital precisa contar com uma equipe técnica capacitada em suas equipes de manutenção, composta de, pelo menos, um Engenheiro Clínico e técnicos em eletrotécnica com conhecimentos de Engenharia Clínica, que passem por programas de treinamento específico para estas atividades. Cuida-se também atentar para a qualidade dos dispositivos utilizados na instalação, procurando sempre utilizar os de melhor qualidade, além também oferecer condições técnicas e de segurança para o trabalho desta equipe. Um programa de manutenção preventiva deve ser implementado a fim de garantir a confiabilidade e segurança das instalações e evitar que problemas graves venham a indisponibilizar equipamentos ou locais para os fins médicos a que se destinam.

Um treinamento sobre a utilização correta e segura de equipamentos e instalações elétricas para o corpo clínico destes hospitais também é importante, possibilitando atingir os objetivos propostos em uma política de segurança elétrica em hospitais.

6.3 TREINAMENTO:

Um programa de treinamento para a equipe técnica do hospital merece ser considerado semelhante a um programa de manutenção preventiva, ou seja, os profissionais envolvidos nesta atividade devem estar sempre sendo reciclados e treinados visando adoção de novas técnicas e tecnologias aplicadas ao setor.

A elaboração de programa de treinamento tem de ser bastante criteriosa, afim de que este atinja seu objetivo e não torne-se muito dispendioso para o hospital. Alguns aspectos fundamentais precisam ser considerados para a feitura destes programas são:

É importante conhecer o público alvo. Na maioria dos casos, as equipes de manutenção dos hospitais são compostas por engenheiros e técnicos com conhecimento em eletrotécnica, logo, o mais importante é que o conteúdo seja relacionado à funcionalidade e segurança em instalações elétricas hospitalares e equipamentos eletromédicos utilizados no hospital. Cientificá-los das normas específicas para as atividades, especialmente as prescrições da NBR-5410 [9], NBR-13534 [11] e NBR IEC 601-1 [6]. Também introduzir conceitos de fisiologia humana para maior compreensão dos riscos e necessidades relativas às atividades clínicas, e abordar questões relativas à segurança e primeiros socorros.

Merecem ser considerados os seguintes aspectos para a elaboração de um programa de treinamento voltado para esta área:

Deve ser analisado o porquê de se ter um programa de treinamento. Avaliar se os funcionários não estão capacitados a realizar adequadamente as tarefas relacionadas as suas atividades, ou seja, é preciso definir e conhecer o público alvo e suas necessidades.

A seguir, relacionar os pré-requisitos para o programa de treinamento que englobam os seguintes aspectos:

- determinação dos conhecimentos básicos necessários para os treinandos;
- determinação da experiência necessária por parte dos treinandos;
- avaliação das capacidades individuais;
- determinação das necessidades de treinamento para novos funcionários;
- determinação das necessidades de treinamento para antigos funcionários;
- decisão sobre quais métodos de treinamento devem ser utilizados;
- investigação da disponibilidade dos materiais de treinamento;
- estabelecimento de um ambiente próprio para o treinamento.

Complementando, estabelecer padrão administrativo compatível com a política do hospital, como a criação de métodos para seleção de funcionários e programas de avaliações.

Este treinamento tem de ser implementado de maneira a que os profissionais possam adaptar rapidamente os conceitos teóricos à prática, logo, ser bastante direcionado e prático.

É importante esclarecer que estas são sugestões de orientações para implementação de um programa de treinamento eficiente, porém, sempre precisam ser analisadas particularidades de cada instituição que pretende implementar um programa de treinamento.

6.4 PERSPECTIVAS

A área de instalações elétricas no Brasil pode ser considerada bem desenvolvida tecnologicamente; particularmente, na área de instalações para estabelecimentos de saúde, com a publicação da NBR-13534 [11], que preenchem uma lacuna que existia em termos de especificações e regulamentação do setor, associando-se à política adotada pelo Ministério da Saúde de incentivar a reestruturação do setor de saúde no País, torna o Brasil um dos primeiros países em desenvolvimento a ter condições de implementar infra-estruturas hospitalares, especificamente às relacionadas com instalações elétricas, nas mesmas condições de países mais desenvolvidos, possibilitando que praticamente todas as novas tecnologias existentes possam ser adotadas no Brasil.

Porém, falta muito a ser feito para que as instalações dos estabelecimentos de saúde no país ofereçam as condições previstas por norma para um fornecimento de energia confiável, com qualidade e segurança. Tem de haver uma conscientização de todos os profissionais e órgãos envolvidos com o setor, objetivando investimentos no

aperfeiçoamento das instalações existentes, formação de mão-de-obra especializada, além de fabricantes de equipamentos eletromédicos que devem passar a exigir as condições ideais para funcionamento de seus equipamentos.

Este trabalho faz parte do aperfeiçoamento do Núcleo de Engenharia Clínica do Hospital Universitário de Florianópolis, que vem operando no sentido de implementar uma estrutura de gerenciamento de tecnologia médica no Estado de Santa Catarina, e de desenvolver tecnologias e profissionais capacitados a atuarem neste setor em instituições do todo o país, levando experiências e contribuindo para o desenvolvimento da área de saúde no Brasil. Pretende-se que a pesquisa e os seus resultados despertem o interesse pelo desenvolvimento de novos trabalhos na área de Engenharia Biomédica e, principalmente, venha a tornar-se uma boa referência para trabalhos relacionados a instalações elétricas de estabelecimentos de saúde em todo o país, além de contribuir na conscientização dos dirigentes de órgãos públicos encarregados pela regulamentação e fiscalização, administradores de hospitais e profissionais de engenharia responsáveis por estas instalações para um constante aperfeiçoamento, a fim de oferecer cada vez mais condições seguras e um sistema de saúde eficiente para a comunidade.

A necessidade de Engenheiros Clínicos no corpo técnico de hospitais também fica bastante evidenciada clara com o resultado deste trabalho, e os administradores de hospitais ou de sistemas públicos de saúde precisam estar conscientes desta necessidade.

Como sugestão para um futuro trabalho, poderiam ser realizados levantamentos qualitativos e quantitativos em instalações de hospitais públicos e privados do Estado de Santa Catarina, visando avaliar as condições em que se encontram para possibilitar um planejamento de reestruturação e investimentos à melhoria das instalações. Estes levantamentos incluiriam medições em parâmetros elétricos importantes para avaliação do sistema elétrico onde for possível, antes de eventuais ajustes para

enquadramento com a norma, para que estes dados possam ser comparados com medidas realizadas após a adaptação das instalações, fornecendo informações imprescindíveis à avaliação e conclusões a respeito de diferenças existentes entre adotar as prescrições de norma ou não.

ANEXO A

FICHA DE LEVANTAMENTO

Hospital:

Data:

Local:

Grupo:

Classe:

Esquemas de ligação:

TN-S	TN-C	TN-C-S	TT	IT

barramento de terra: ☐ SIM ☐ NÃO
 barramento equipotencial: ☐ SIM ☐ NÃO
 sistema isolado: ☐ SIM ☐ NÃO
 monitoração de sistema isolado: ☐ SIM ☐ NÃO
 piso anti-estático: ☐ SIM ☐ NÃO
 SELV/PELV: ☐ SIM ☐ NÃO tensão nominal:

Sistema de proteção:

disjuntor termomagnético	disjuntor DR	fusível	nenhum

Tomadas: 2P:

 2P+T:
 tripolar:

estado geral: ☐ Bom ☐ Satisfatório ☐ Ruim
 força de retenção: ☐ Boa ☐ Satisfatória ☐ Ruim
 polaridade:
 altura:
 obsevações:

Estado geral das instalações: ☐ Bom ☐ Satisfatório ☐ RuimOrganização: ☐ Boa ☐ Satisfatória ☐ Ruim

Observações Gerais (estado , organização, extensões, problemas funcionais, etc...):

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABREU, José Policarpo G. **Qualidade da energia em sistemas elétricos hospitalares I.** Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Saúde. Vol. 1.p 185 -186. 1996.

- [2] ABREU, José Policarpo G. **Qualidade da energia em sistemas elétricos hospitalares II.** Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Saúde.Vol. 1. p 187-188. 1996.

- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Conceituação e diretrizes de segurança de equipamentos elétricos utilizados na prática médica.** NBR-9153. Rio de Janeiro. 1985.

- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Diretrizes para especificação de um sistema de proteção completo.** NBR 8769. Rio de Janeiro.1983.

- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Diretrizes para o pessoal administrativo, médico e de enfermagem envolvido na utilização segura de equipamento eletromédico.** NBR 11630. Rio de Janeiro. 1990.

- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamento eletromédicos - Parte 1 - Prescrições para segurança.** NBR IEC 601-1. Rio de Janeiro. 1996.

- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Estabelecimento de segurança aos efeitos da corrente elétrica percorrendo o corpo humano.** NBR 6533. Rio de Janeiro. 1979.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Iluminância de interiores.** NBR 5413. Rio de Janeiro. 1982.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações elétricas de baixa tensão.** NBR 5410. Rio de Janeiro. 1980.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações elétricas em ambientes com líquido, gases ou vapores inflamáveis.** NBR 5418. Rio de Janeiro. 1969.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações elétricas para estabelecimentos assistenciais de saúde - Requisitos de segurança.** NBR 13534. Rio de Janeiro. 1995.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Proteção contra risco de alta tensão em equipamentos radiológicos de aplicação médica.** NBR 168. Rio de Janeiro. 1971.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de iluminação de emergência - Procedimento.** NBR 10898. Rio de Janeiro. 1988.

- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; COMITÊ BRASILEIRO DE ELETRICIDADE. **Catálogo Eletro-Eletrônica - Normas Técnicas 1992/93**. ABNT/COBEI. 1993.
- [15] BESKOW, Wayne B. **Estudo preliminar do processo de qualificação em equipamentos eletromédicos: uma abordagem em Engenharia Clínica**. Dissertação de mestrado . Universidade Federal de Santa Catarina. 1997.
- [16] BIEGELMEIER, G. **The electric impedance of human body**. RGE. Vol 11. p 817-832. 1985.
- [17] BRONZINO, Joseph D. **Management of Medical Technology**. Ed. Butterworth-Heinemann. 1992.
- [18] BUCKZE, George B.; MCKAY, William P. S. **Continuing medical education article**. Electrical Safety in the Operation Room. 1990.
- [19] CAMPOS, Marcelo Aguiar; FILHO, Silvério Visacro. **Aterramentos Elétricos para Instalações Hospitalares**. Revista Brasileira de Engenharia. Vol. 6. nº 2. p. 256-262. 1989.
- [20] CASTRO, Ana Cláudia R. **Estudo de Funcionalidade e Segurança em Unidades Eletrocirúrgicas de Alta Frequência**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 1997.
- [21] Catálogos de equipamentos eletromédicos utilizados pelo Núcleo de Engenharia Clínica do Hospital Universitário.

- [22] CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA. **Norma para Atendimento à Edifícios de Uso Coletivo. NT-03.** Florianópolis. 1983.
- [23] CREA/SC. **Coletânea de Legislação Profissional.** 1985.
- [24] CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas.** Ed. LTC. Rio de Janeiro. 1991.
- [25] da PAZ, Mário A. **Segurança em Equipamentos de Monitorização em Sala Cirúrgica e UTI. Oxímetro de Pulso, Capnógrafo, Monitor Cardíaco e Monitor de Pressão Não-invasivo.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 1996.
- [26] DALZIEL, C.F. **Effects of Electric Shock on Man.** Electrical Engineering. Vol. 60. nº 2. p 63-66. Fevereiro. 1941.
- [27] EHRENWERTH, Jam M.D. **Electrical Safety in the Operation Room.** Nem Havem.1980.
- [28] ESPERANÇA, Carlos G. **Estudo de Metodologias para Gerenciamento de Ventiladores Pulmonares.** Dissertação de mestrado.Universidade Federal de Santa Catarina. 1996.
- [29] FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles; KUSKO, Alexander. **Máquinas Elétricas.** Ed. McGraw-Hill do Brasil. 1975.

- [30] FREIBERGER, H. **Der Elektrische Widerstand des Menschlichen Korpes Gegen Technischen Gleich-und Wechselstrom.** Verlag Julius Springer. Berlim. 1934.
- [31] GEWEHR, P.M. **Riscos de Choques Elétricos no Ambiente Médico-Hospitalar.** Dissertação de mestrado. UNICAMP. Campinas. 1983.
- [32] GEWEHR, Pedro M.; BINSING, Wang. **Prevenção de Riscos Elétricos no Ambiente Médico-hospitalar - Instalações Elétricas.** Anais do 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica. p. 149-154. 1983.
- [33] GEWEHR, Pedro M.; BINSING, Wang. **Prevenção de Riscos Elétricos no ambiente Médico-hospitalar - Equipamentos Eletromédicos.** Trabalho apresentado no 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica. p. 155-161.1983.
- [34] GUYTON; HALL. **Textbook of Medical Physiology.** Ed. Saunders. São Paulo. 1996.
- [35] HEIN, Marcelo; MÜHLEN, Sérgio. **Aspectos da segurança elétrica em hospitais.** 2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Saúde. Vol. 1. p 163-164.1995.
- [36] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Draft-reporting Systems for Hazards in Hospitals.** IEC 62A67. Genebra. 1982.
- [37] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Isolating Transformers and Safety Isolating Transformers.** IEC 742. Genebra. 1974.

- [38] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION. **Safety of Medical Electrical Equipments - Part 1 - General Requirements.** IEC 601.1. Genebra. 1977.

- [39] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION. **Third Draft-requirements for Electrical Installations in Medical Establishments.** IEC 62A55. Genebra. 1975.

- [40] KIMMEL, Willian D.; GERKE, Daryl D. **Electromegnetic Compatibility in Medical Equipment - A Guide for Designers and Installers.** IEEE Press.EUA.1995.

- [41] KINDERMANN, Geraldo. **Choque Elétrico.** Ed. Sagra-Luzzato. Porto Alegre. 1995.

- [42] KINDERMANN, Geraldo. **Descargas Atmosféricas.** Ed. Sagra-Luzzato. p 103-106. Porto Alegre. 1992.

- [43] KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge M. **Aterramento Elétrico.** Ed.Sagra. Porto Alegre. 1991.

- [44] MCPARTLAND, J.F.; et al. **Como Projetar Sistemas Elétricos.** Ed. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo. 1978.

- [45] MINISTÉRIO DA SAÚDE, SECRETARIA NACIONAL DE ASSISTÊNCIA À SAÚDE. **Segurança no Ambiente Hospitalar.** p. 20. Brasília. 1995.

- [46] MINISTÉRIO DA SAÚDE, SECRETARIA NACIONAL DE ASSISTÊNCIA À SAÚDE. **Equipamentos para Estabelecimentos Assistenciais de Saúde Planejamento e Dimensionamento..** Brasília. 1995.
- [47] MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 2662/95.** Brasília. 1995
- [48] MONTE, Adilson A.M.; FARINA, Evandro F. **Segurança em Instalações e Equipamentos Elétricos Hospitalares.** Monografia - Engenharia de Segurança do Trabalho. Universidade Federal de Santa Catarina. 1993.
- [49] NISKIER, Julio. **Instalações Elétricas.** McGraw-Hill do Brasil. São Paulo. 1992.
- [50] SAM, U. **Neue Ergebnisse Uber die Elektrische Gefährdung des Menschen bei Teildurchströmungen des Korpes.** VDRI Jahrbuch. Hannover. 1968.
- [51] SANTANA, Crismara J. da Rosa. **Instalações Elétricas Hospitalares.** Editora EDIPUCRS. Porto Alegre. 1996.
- [52] SILBERBERG, J.L. **Performance Degradation of Eletronic Medical Devices DUE to Electromagnetic Interference.** Center of Devices and Radiological Health. FDA. 1993.
- [53] SUROWICZ, Boris. **Electrophysiologic Basis of ECG and Cardiac Arrhythmas.** Ed. Willians & Wilkins. 1995.
- [54] THORN; ADAMS; BRAUNWALD, ISSELBACHER, PETERSDORF. **Principles of Internai Medicine.** Ed. McGraw-Hill. EUA. 1977.

- [55] UNDERWRITERS Laboratories. **Standard for Safety-Medical and Dental Equipment.** UL 544. Northbrook. 1980.
- [56] WEBSTER, John G.; COOK, Albert M. **Clinical Engineering, Principles and Practices.** Ed. Prentice-Hall Inc. EUA. 1979.
- [57] YADIN, D.; McKEE, K.A. **Electromagnetic Interference: Causes and Concerns in the Health Care Environment.** American Society for Hospital Engineering of the American Hospital Association. 1994.
- [58] LAZAR, I. **Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants.** New York, John Wiley. 1971.
- [59] MIRSHAWKA, V. **Probabilidade e Estatística para Engenharia.** Volume 1. Ed. Nobel. São Paulo. 1978.